災害調査報告書

生ごみ処理施設爆発災害

平成18年6月

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所

目 次

ページ

1. はじめに

（略）

2. 災害調査の経緯と調査項目

（略）

3. 事業場の概要

（略）

4. 事故災害の概要

①発生年：平成 15 年
②発生場所：ショッピングセンター
③事故の形態：爆発災害
④爆発起因物質：生ごみ混合物（生ごみとおがくずを混合した物）
⑤爆発装置：生ごみ処理装置
⑥人的被害：死傷者 11 名，うち労働者の死傷者 1 名（不休）

⑦物的被害：生ごみ処理装置発酵処理機の焼損，排気ダクトの焼損，建屋内壁・外壁の損壊等。
⑧発生状況の概要

火災報知機が作動したため，ショッピングセンター内の警備業務を委託された警備員 2 名が生ごみ処理装置室内の初期消火を試みた。しかし，煙が充満していたため，消防に通報した。消防署員等が到着し，消火作業中，爆発が発生した。爆発時，２名の消防署員が生ごみ処理室内にいたが，無傷であり，負傷したのは室外にいた者であった。

図省略

図 4-1　災害発生場所

5. 設備の概要

5.1 生ごみ分解処理

(1)メカニズム

生ごみの処理機装置には，主に微生物分解方式と乾燥方式があるが，前者は減量・コン

ポスト（堆肥）化・飼料化を，後者は減量化・減容化を主な目的として処理される。ただし，後者は堆肥化のためにも利用でき，特に大量の生ごみを高温で乾燥させることで短時間に減容できるため，大型機ではさらにRDF（Refuse Derived Fuel：ごみ固形化燃料）などに加工され，燃料用として利用されている。

有機物は，微生物の好気性発酵あるいは嫌気性発酵により，分解される。好気性発酵は酸素の存在下で行われる分解を，嫌気性発酵は酸素の関与無しで行われる分解をいう。図5-1に，メーカーによる生ごみ処理装置の分解処理メカニズムの概要を示す。有機物からなる食品廃棄物を微生物利用により分解し，再資源化をはかる。正常な処理では好気性発酵により分解が行われるため，アンモニア以外の可燃性ガスを発生しないとされる。

■炭水化物の分解

炭水化物は、C·H·Oの形で表され、好気性微生物のはたらきで最終的に二酸化炭素と水に分解すると同時に熱を発生します。

■たんぱく質及び脂肪の分解

たんぱく質や脂肪は、微生物醗酵及び呼吸により分子量の小さな物質になり二酸化炭素、水及びアンモニアに分解し、熱を発生します。

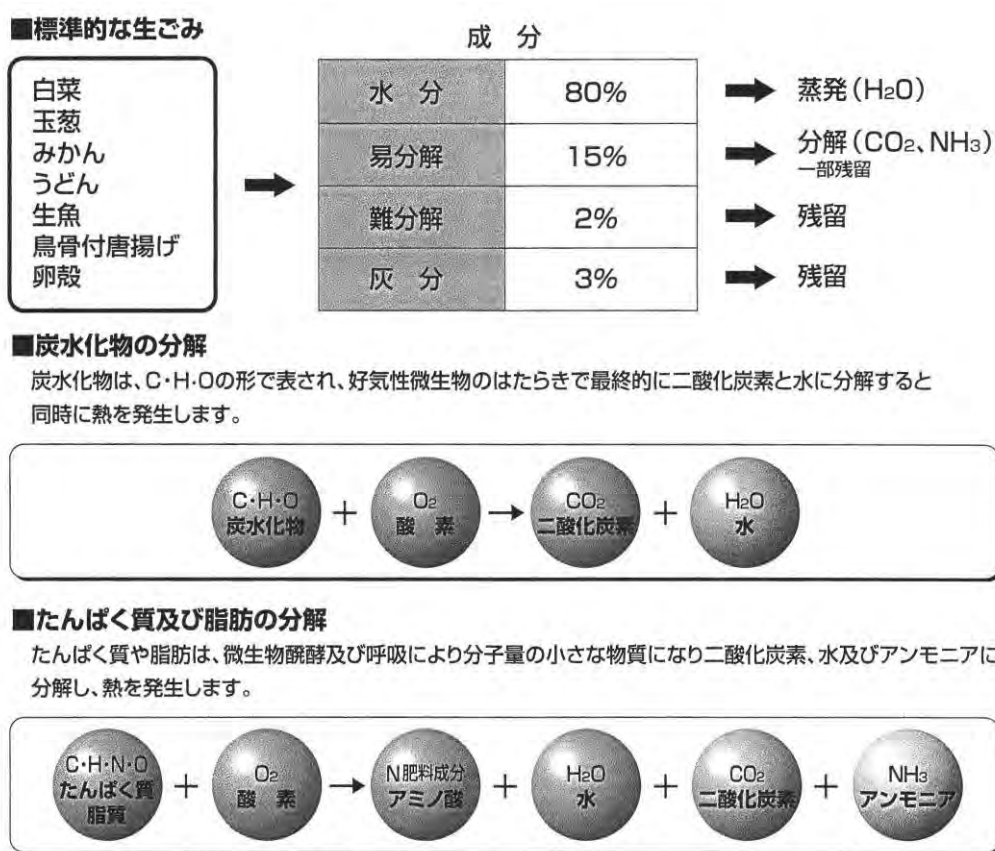



図5-1　業務用生ごみイーターの分解処理メカニズム[1)]

(2)リサイクルの流れ

図5-2にリサイクルの流れを示す。この装置ではコンポスト化原料を製造していた。

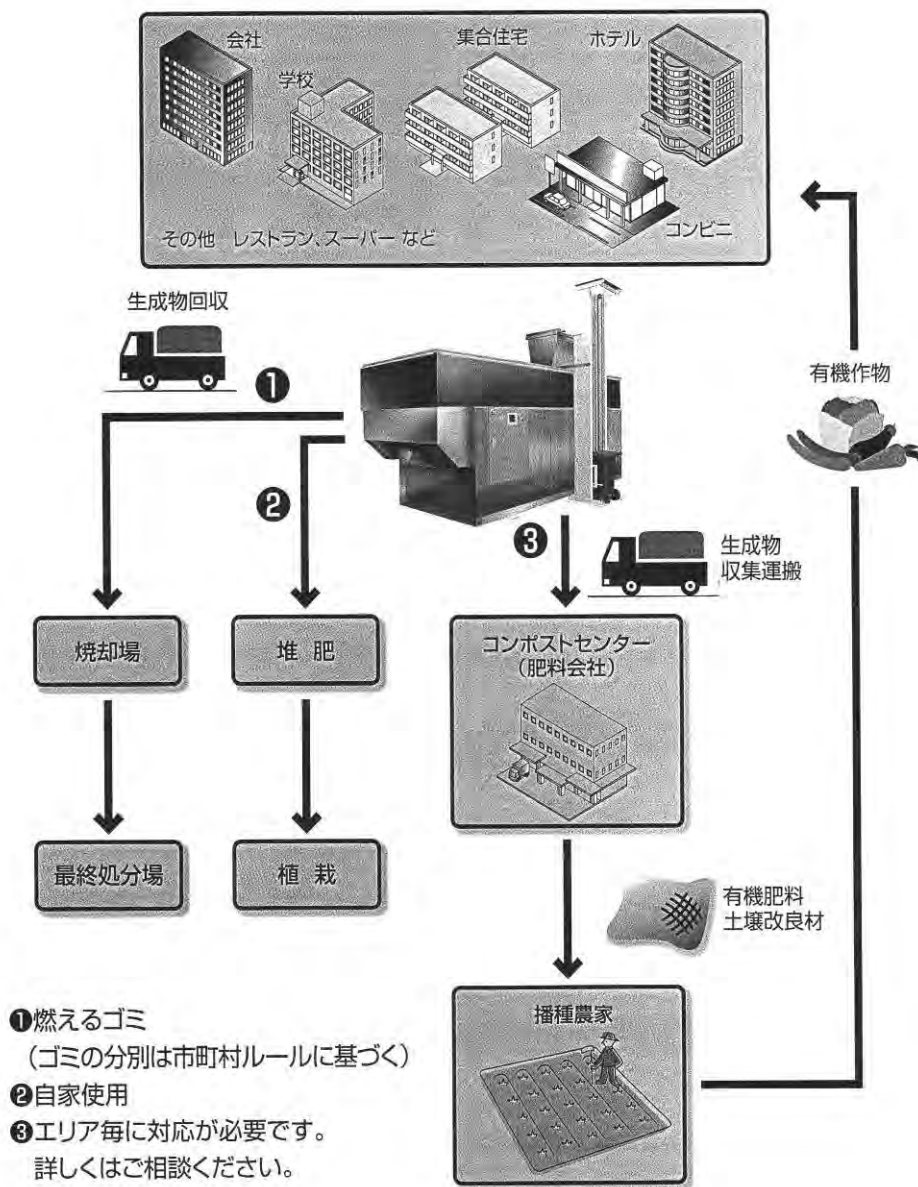



図 5-2　生物系廃棄物のリサイクル [1)]

5.2 業務用生ごみ処理装置

(1)装置の仕様

省略

図 5-3，図 5-4 にそれぞれ外形図とシステム構成を示す。発酵槽，エアレーション部の組立図，乾燥槽の計画図は資料 1 を参照。

図省略

図 5-3　業務用生ごみ処理装置の外形

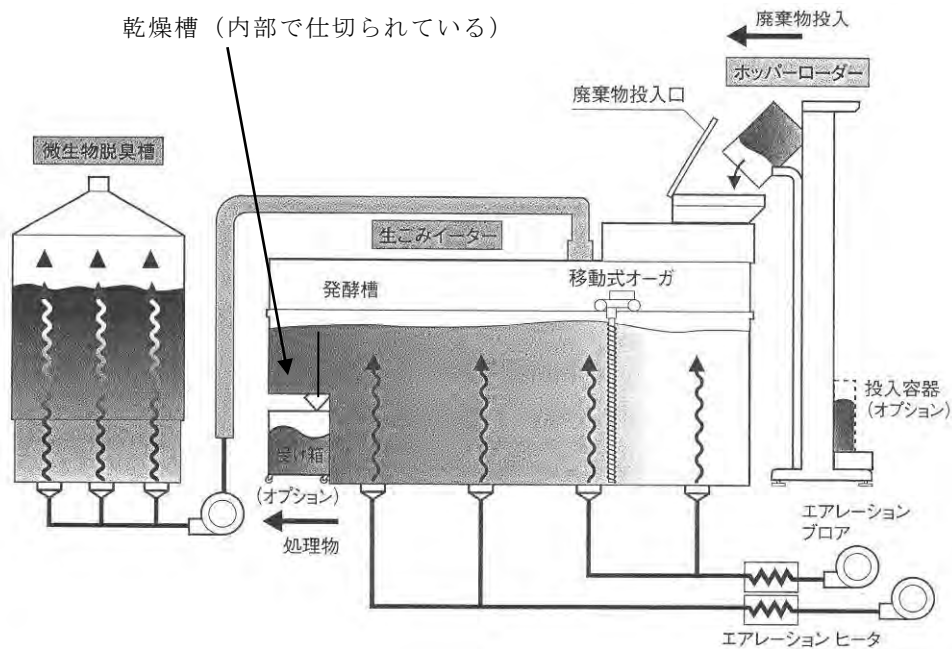



図 5-4　システム構成[1)]

(2)動作の概要

本装置は，生ごみを発酵，乾燥処理し，減容して排出するもので，発酵槽本体，投入機(ホッパーローダー)，微生物脱臭装置から構成される。次の動作を行う。

①本体上部の投入シャッタを開き，本体を稼動させ，生ごみを本体槽内（発酵槽内）に投入する。

②生ごみは槽内でかくはん装置（移動式オーガ）により残留処理物と混合，かくはんされる。

③槽下部より熱風を供給し，発酵処理を促進する。

④かくはん装置は走行台車により定期的に槽内を往復する。

⑤排出時には排出扉を開き，生成物を排出する。

⑥発酵槽上部には排気口があり，槽内の湿ったガスを脱臭装置に吸引する。

(3)投入方式

生ごみは，発酵槽の上部から投入するようになっている。生ごみが入った投入容器はホッパーローダー（昇降・自動投入装置）に装着され，操作ボタンにより投入容器がせり上がり，自動的に投入容器が傾いて内容物が発酵槽に投入される。発酵槽には水分調整のため，おがくずを副資材として定期的に投入するが，槽内の ph 値に応じて消石灰も投入する。

(4)加熱方式・温度測定

発酵槽の加熱は熱風吹き出し方式である。発酵槽外側面には 5 台のブロアとその下流にヒータが取り付けられ，ヒータ下流側でパイプが 4 つに枝分かれし，さらにその先で 6 つの長さの異なる角形の吹き出しノズルに枝分かれして発酵槽内底部に水平に取り付けられている。角形の吹き出しノズルの出口寸法は 16 mm×16 mm，底面から吹き出し中心の高さは 42 mm である。吹き出し口の総数は 120 である。

温風の温度設定は操作パネル上で入力するが，温度調整器，ヒータに取り付けられたサーモスタット，出口温度測定用の熱電対による温度調整機能により行われる。バイメタルサーモスタット（自動復帰型）は過昇防止のためのもので，その温度に達すると，ヒータ加熱が自動的に止まる。温度が上昇して加熱が止まる設定温度は 200 ℃である。

発酵槽内の温度は，ステンレス製の側板（3 mm 厚）の外表面の 3 箇所にネジ止めされた熱電対によって測定，メモリに記録されていた。測定位置の高さは発酵槽底部から 34 cm である。この温度は槽内の温度ではなく，槽外表面での温度である。発酵槽の側板の外側には断熱材が覆われている。

(5)かくはん方式

発酵槽のかくはんは，オーガと呼ばれる縦スクリュのかくはん棒からなる装置によって行われる。オーガは 6 本，鉛直に取り付けられ，回転しながら走行台車によって発酵槽を水平に移動する。オーガは各運転モードに従い，定期的に発酵槽を往復する。オーガの回転速度は 45 rpm である。オーガは，生ごみを下から持ち上げる方向に回転し，層内をかくはんする。オーガのスクリュを含む外径は 250 mm で，オーガの下端は発酵槽底面から約 10cm の高さにある。

(6)乾燥槽

発酵槽の排出側には乾燥槽が設けられている。発酵槽から 1 回分の排出物を乾燥槽に移し，乾燥後に排出させるようになっている。排出物の移し替えは，オーガが乾燥槽に近接し，オーガの回転運動により，堆積した排出物がせり上がり，乾燥槽に落とし込まれることで行われる。

乾燥したコンポスト化した排出物はフレコンバックに入れる。排出操作とは，発酵槽から移送→乾燥→排出工程→排出終了の一連の操作を指す。

発酵槽の排出側（資料 1）に設けられた乾燥槽には，パドル（かくはん翼）付きのかくはん棒（幅 1,400 mm，長さ 260 mm）が 6 本取り付けられている。ヒータ加熱は本体の外表面側から行うようになっている。排出物は，通常，乾燥槽の半分程度溜められ，乾燥される。

(7)微生物脱臭装置

脱臭装置は，発酵槽から発生するアンモニア等からなるガスを吸引し，微生物によりその悪臭を分解，軽減する装置である。脱臭装置には土壌菌を接種した木材チップが常時湿らせて入っているが，吸引されたガスは木材チップ層の下部から流入し，ガスが上昇する間に付着した水分が悪臭を吸着するとともに悪臭成分を土壌菌が分解するようになっている。散水により分解生成物をドレン口から排出する。臭いを外部に漏らさないように発酵槽からブロアで吸引することで発酵内を負圧に保っている。

5.3 装置の運転操作

①操作パネル

メニュー選択画面は以下のようになっている[2)]。ただし，部外者が操作しないように，隠しスイッチと併用してボタンを押さなければならないものがある。

タッチパネル画面表示の異常表示と各機器の動作の一覧を表 5-1 に示す。異常メッセージと対処処置画面一覧は資料２を参照。表 5-1 によれば，自動投入装置，ホッパーローダーに異常があっても，ほかの機器は動作を続けることになる。

②運転モード

機械の運転操作は，制御盤に設けられた操作パネル上で行うが，運転のモードは次の４つから選択されるようになっている（表 5-2，図 5-5)。

③ブロア冷却運転

ブロア運転終了時, ヒータの予熱で設定温度を超えた時, ブロアのみ運転する（最低 30 秒間）

④排出作業（乾燥作業込み）の設定

パドル　正転時間 10 分，逆転時間 10 分，停止時間 2 分

乾燥時間 240 分，ヒータ温度 65℃

排出時間　10 分

⑤脱臭装置の散水時間設定

散水時間 5 分，排水時間 40 分

⑥取扱説明書における安全上の注意点

爆発，火災に注意して取扱説明書を見ると，本体にガソリン・灯油・LP ガス等を近づけると爆発，火災の原因となったり，排気口をふさぐと発熱，発火の原因となったりする旨のことが書かれている（資料 3)。

表 5-1　安全装置の作動と各機器の動作一覧[2)]

表省略

表 5-2　運転モードごとの時間と温度設定

表省略

図省略

図 5-5　かくはんとエアレーションの関係

5.4 国内における同形式の装置の使用状況（平成 15 年当時）

省略

5.5 装置に投入できるもの

メーカーによると，装置に投入できるものとできないものは以下の通りである [3]。

①装置に投入できるもの

- 肉（20％以内）
- 魚（20％以内）
- 魚・鶏の骨，カニ・エビの殻
- 野菜・とうもろこしの芯
- 果物
- 穀物（20％以内）・茶かす
- 卵の殻
- その他，一般的に人間が食べられるもの

　ただし，ミカン類の皮，豆類の皮，卵やカニ，魚や鶏の骨などは分解しにくく，時間がかかる。

②投入しても分解しないもの

- 貝殻類　→分解されないでそのまま排出される。
- とうもろこしの皮・たけのこ・栗　→分解されないでそのまま排出される。
- 花・落葉　→分解されないでそのまま排出される。
- プラスチック類・ゴム類・ポリ袋，（ごみ袋など）→内部にたまって故障の原因となる。

・ガラス・金属類・陶器，（ビールの栓など）→内部にたまって故障の原因となる。
・割りばし・つまようじ・竹串　→内部にたまって故障の原因となる。
・紙類・繊維類，（ティーバック，乾燥剤など）→内部にたまって故障の原因となる。
・ガム→内部にたまって故障の原因となる。→内部にたまって故障の原因となる。
・牛・豚の大きな骨

③絶対投入できないもの
・（大量の）タバコの吸殻，灰　→微生物が死ぬ原因となる。
・薬・抗生物質類　→微生物が死滅する原因となる。
・（大量の）塩や塩分の多いもの　→微生物が死ぬ原因となる。
・シャンプー・洗剤など　→微生物が死ぬ原因となる。
・（大量の）食用油，牛乳，酒，酢など液体　内部がべたつき，においの原因となる。
・その他，人間が食べられないもの
・灯油，ガソリン，シンナー，アルコール等の揮発油類

④メーカーが考える標準的な生ごみ組成
・構成比　野菜 70%，ご飯 20%，生魚 10%，卵殻数%
・栄養成分：水分 81.1%，たんぱく質 3.3%，脂質 2.2%，糖質 10.3%，繊維質 0.4%，灰分 2.7%
・３成分：水分 81.1%，可燃分 16.2%，灰分 2.7%

実際，投入されるものはショッピングセンターの食品売り場等から袋に入れて出される生ごみであり，主に野菜，果物，ご飯，揚げ物（惣菜），肉類が対象となる。処理装置に投入する前に分別作業が行われ，生ごみに混入する割りばし，つまようじ，竹串，空き缶，ホチキスの針等を取り除き，野菜，惣菜，肉類を投入していた。作業者（Ａ氏，5.7 節）によると，揚げ物は１年間は投入対象としていたが，肥料原料の品質に影響を与えるという理由で，その作業者の判断で投入対象から除外していた。ただし，別の作業者（Ｂ氏）は，特に揚げ物，肉を除外せずに投入していた。

5.6 装置の設置場所

生ごみ処理室はショッピングセンター建屋内の南東角付近にあり，外壁としてシャッタが取り付けられていた。室内は鉄骨 ALC 構造である。室内寸法は，東西に 16.72 m，南北に 9.38 m，天井高さ 5.71 m であるが，生ごみ処理装置は，外壁から 4.48 m に設置されていた（図 5-6）。

図省略

図 5-6　生ごみ処理装置の設置場所

5.7 通常の作業

通常の作業は，①生ごみの分別，②生ごみの投入，③排出，④ph 測定と石灰投入，⑤お

がくず投入となっていた。作業は１名で実施する。

午前８時過ぎに作業開始
　槽内の pH 値測定，槽内温度記録，フィルタ点検，排水
　排出作業
　前日に出された生ごみの分別，投入作業１回目（午前９時頃）
　午前に出された生ごみの分別，投入作業２回目（午前 11 時頃）
　午後に出された生ごみの分別，投入作業３回目（午後４時頃）
　排出作業
　午後８時頃までダンボール整理や資源ごみの分別などの作業を行い，
　運転モード，総投入量の記録
　１日の作業終了

・生ごみの１日の投入量は少ないときで 400kg，多いときで１t，平均で 600kg 程度であった。
・各時間での投入作業は５から６回
・排出作業は１日に２回から３回。１回の排出量は 70 kg 程度。
・350L 排出毎に 300L のおがくずを投入する。頻度は週２，３回。
・pH 値が 7 を下回ると石灰を 40kg 投入。頻度は月 1 回程度

注）メーカーの取扱い説明によると，生ごみは水分量が多く，かさもあるため，運用上の計量単位は重さ（質量）とし，しかし，おがくずと生成物の計量単位はかさ（体積）としていた。ただし，石灰の計量単位は重さであった。

常駐の作業者はＡ氏で，毎日作業を行い，火曜日は休んでいた。火曜日の作業者はＢ氏であった。作業時間は午前８時から午後８時まで。

第 5 章の参考文献

1)省略
2)省略
3)省略

6. 被害状況

6.1 被害の様子

被害状況を写真 6-1～6-49，模式図を図 6-1～6-3 に示した。

主な被害状況等は以下の通りである。

①建物周り
(a)生ごみ処理室と接する南側の壁，ALC ボードは公道に向かって飛散していた。
(b)壁から約 5m離れた敷地境界のフェンスは，飛散物が当たって破壊していた。

②生ごみ処理室内

(a)南側の屋外と接するドアとシャッターは屋外方向へ変形していた。

(b)東隣の生ごみ庫に接するドアと壁は生ごみ方向へ変形していた。

(c)天井の蛍光灯，クーラーダクトに異常はなかった。

(d)処理室北側の部屋に設置してあった監視用カメラは警察が押収した。

③生ごみ処理装置

(a)堆積層表面は平坦で層内部で爆発した様子は無かった。

(b)装置上部側面に取り付けられた PET 樹脂製の点検窓は軟化し，波打ち，大きく反っていた。

(c)点検窓に破壊した形跡はなかった。

(d)南側からみて装置左側，ステンレス側壁は断面を観察するため切断されていた。

(e)微生物脱臭装置へ向かう塩ビダクト（呼び径 200）は軟化し，ひしゃげていた。高温ガスを吸い込んでいたものと考えられる。

(f)微生物脱臭装置へ向かう塩ビダクトは燃えていなかった。

(g)微生物脱臭装置へ向かう塩ビダクトの外面は，焦げ無し，内面は白いものやすす状のもの，油状のものが付着していた。

(h)発酵槽内の塩ビダクト（呼び径 125）の焦げ方は激しかった。

(i)ブロアの吸い込み側には吸い込み風量調整のためか，ボールバルブが取り付けられていた。開度は約 45 度。

(j)吸い込み側パイプ内面は油分を含む粘着質のものが付着していた。

(k)オーガ用のモータは防爆仕様ではなかった。

(l)発酵槽内の堆積物の色は茶，こげ茶，黒色を呈しており，堆積層下部（底部）は発酵槽全体にわたって黒く炭化していたが，層の中間から上部には色が違うところがあり，変色の程度が層状に一様ではなかった。

(m)堆積物は放水のため浸潤し，泥状になっていた。

(n)堆積層の高さ（深さ）は●月●日の調査では 55 cm であった。

(o)監督署による●月●日の調査では約 70 cm であった。

(p)熱風吹き出しノズルの下はすべて炭化していた。

(q)装置底部は全面にわたって炭化し，かたくなっていたが，装置の乾燥機側の堆積層上面はやわらかかった。

(r)投入されたものが堆積層の上にあった。すなわち，オーガは投入されたものをかくはんしていなかった（オーガは止まっていた)。

(s)装置左側(掃除口に近い側)のステンレス側板の一部が内壁, 外壁とも焦げていた。

(t)それらの焦げ跡は縦長であった。

(u)内壁のすすは，主に縦長方向（鉛直方向）に付着していた。

(v)天板は，ステンレス＋発砲スチロール＋ステンレスの三層構造であった。

(w)天板は，熱的な影響を受けて多少ゆがんでいたが，装置外へ向かう膨らみはなかった。

(x)掃除口の下に取り付けられていた高密度 PE 板(白, 5mm 厚さ)は下部が焦げていた。

(y)オーガ周りは炭化していた。

(z)堆積層の乾燥機側底面に油状物質あり，粘りは少なくさらさらしていた。→**研究所**

で分析を行うため採取した。

(aa)オーガに布切れが巻きついていた。

(ab)乾燥槽には生成物があったが，水没し，たまった水からは気泡が生じていた。

(ac)制御盤（配電盤）の隙間，膨らみは無く，かつ燃焼した跡はなかった。

(ad)配電盤内で漏電，短絡等により火災が発生した様子は見られなかった。

（ae）乾燥槽のヒータ加熱とかくはん用のパドルが作動していたかどうかは不明であった。

④微生物脱臭槽

(a)内部のチップ層を上から見ると丸く変色していた。

(b)側板を外してチップ層の側面を見たが，異常は無かった。

(c)排気側のダンパには温度ヒューズ（72℃）が取り付けられていた。

⑤その他

(a)消防の初めの放水は，主に装置左方向だった。

(b)制御盤のうち一つだけトリップ状態（電源ブレーカが自動で落ちた状態）だった。

(c)オーガの走行は止まっていたが，その場で回転していたかどうかは分からない。

(d)災害発生当日の消防研究所によるガス測定では，槽内の空気かからメタン，ブタン，プロパン等の可燃性ガスが検出されたという。

写真 6-1　飛散状況（読売新聞，オンラインより）

写真 6-2　飛散状況（読売新聞，東京夕刊より）

写真 6-3　生ごみ処理室を道路側から北西方向に見たところ

写真 6-4　生ごみ処理室を外壁に沿って東方向に見たところ

写真 6-5　生ごみ処理室の外壁の破損状況

写真 6-6　生ごみ処理室側（室内側）から見たシャッターの破損状況

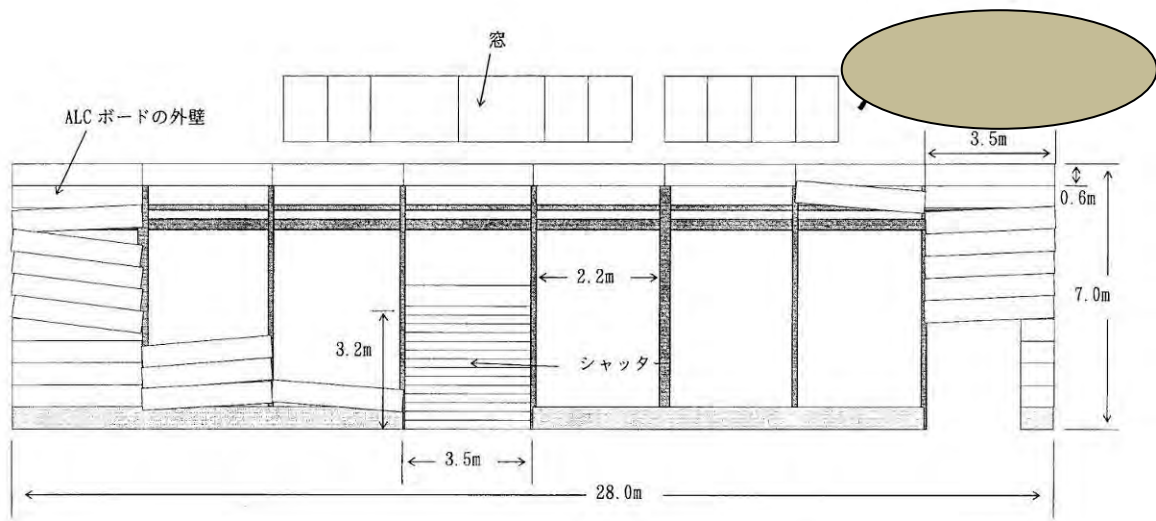



図 6-1　生ごみ処理室外壁の破損状況（模式図）

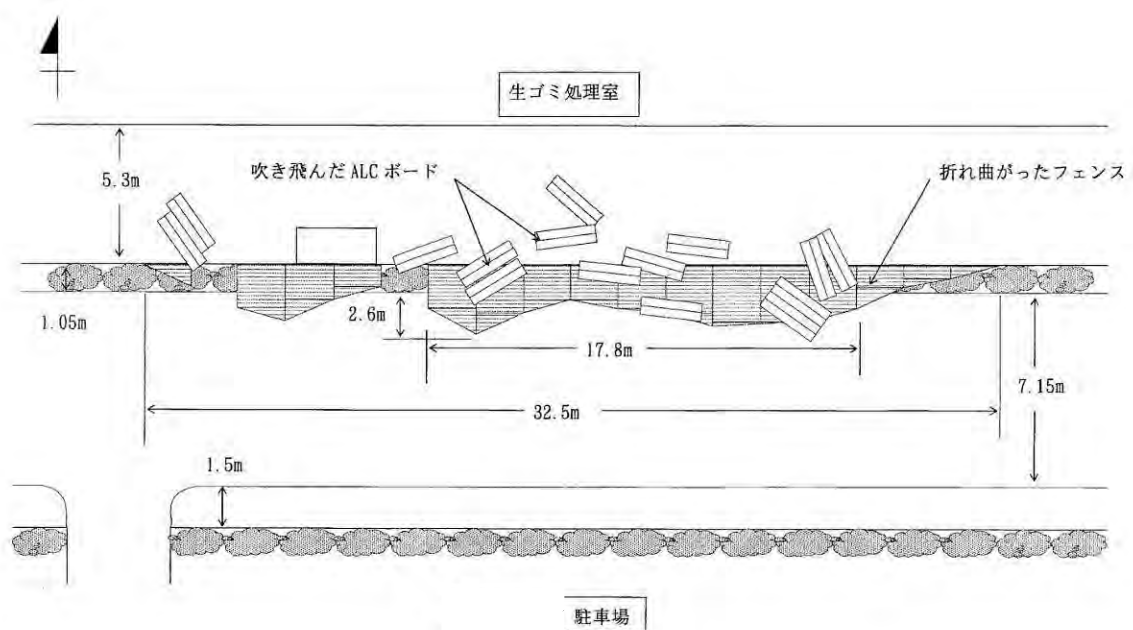



図 6-2　生ごみ処理室外壁の飛散状況（模式図）

写真 6-7　生ごみ処理装置前の様子

写真 6-8　生ごみ処理装置を右から見たところ（エメラルドグリーン色のボックスが制御盤）

写真 6-9　ホッパーローダー（生ごみ投入容器が途中で止まっている）

写真 6-10　制御盤を斜め左から見たところ(内部を調べるため 2 箇所，側壁の一部が切断されている）

写真 6-11　ホッパーローダーを左から見たところ

写真 6-12　生ごみ処理装置（発酵槽）の左側の様子（奥が微生物脱臭装置）

写真 6-13　生ごみ処理装置（発酵槽）の左側の様子（側壁の一部が切断されている）

写真 6-14　生ごみ処理装置排気ダクト(呼び径 200)

写真 6-15　生ごみ処理装置（発酵槽）を斜め左から見たところ

写真 6-16　生ごみ処理装置（発酵槽）上方，天井の様子

写真 6-17　生ごみ処理装置（発酵槽）上部の様子

写真 6-18　オーガ走行用ケーブルベヤ付近の様子

写真 6-19　生ごみ処理装置（発酵槽）をエアレーションヒータ，ブロア側から南西方向に見たところ

写真 6-20　生ごみ処理装置（エアレーションヒータ，ブロア側）と接する隣の部屋の壁の破損状況（壁が破壊して無くなっている）

写真 6-21　写真 6-20 を反対方向から見たところ（隣の部屋（左側）で壁が破壊して無くなっている）

写真 6-22　生ごみ庫（分別台がある部屋で，左隣が生ごみ処理室）

写真 6-23　生ごみ庫と生ごみ処理室を隔てる壁の破損状況（壁が生ごみ庫側に移動している）

写真 6-24　生ごみ処理室から生ごみ庫の方向を見たところ

写真 6-25　生ごみ処理装置（発酵槽）内を掃除口左から見たところ

投入された生ごみがかくはんされずに残っている。

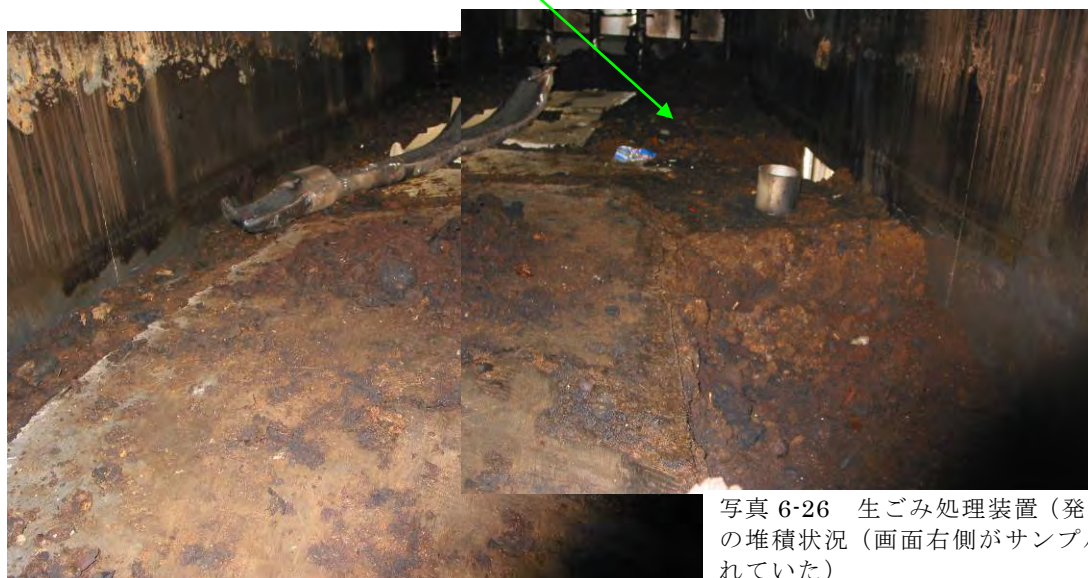



写真 6-26　生ごみ処理装置（発酵槽）内の処理物の堆積状況（画面右側がサンプルとして掘り出されていた）

写真 6-27　生ごみ処理装置上部の様子

写真 6-28　オーガ付近の様子

布切れ

写真 6-29　11 月 18 日の合同調査の様子（●●●●ほか）

写真 6-30　エアレーションヒータとブロアの様子

写真 6-31　ブロア吐出側に取り付けられていたボールバルブ

消火水と油分を含む液状化物（さらさらしている）

写真 6-32　生ごみ処理装置（発酵槽）内を掃除口側から見たところ（画面右半分はある深さまで既に掘り返されていた）

写真 6-33　生ごみ処理装置（発酵槽）内の堆積物（底部付近は黒く炭化している）

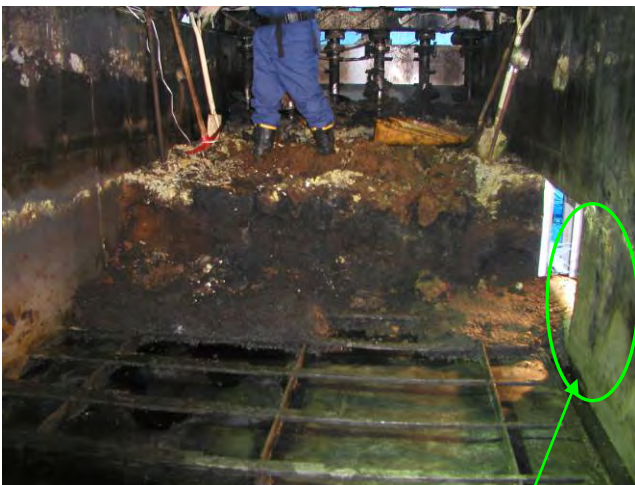



写真 6-34　生ごみ処理装置（発酵槽）内の堆積物

壁面の焦げ跡

当初の堆積層の高さ（約 70cm）

写真 6-35　生ごみ処理装置（発酵槽）内の堆積物をすべて取り出した後の様子（熱風吹き出しノズルとオーガ全体が見える）

掃除口

当初の堆積層の高さ（約 70cm）

高密度 PE 板（白板）
下から 10cm から 20cm は焼損

写真 6-36　生ごみ処理装置（発酵槽）内のプラスチック内壁の焼損状況（排出側と逆の方向を見たところ）

写真 6-37　プラスチック内壁板の焼損状況

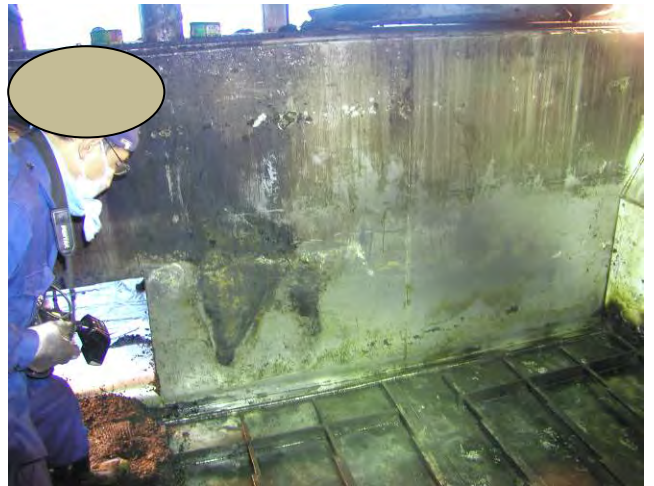



写真 6-38　写真 6-34 の該当箇所を別の角度から見たところ（装置左端から 1.9m。すすの付着は 2 つのノズルの吹き出し口の間隔(約 30cm)に対応している）

写真 6-39　写真 6-34 の該当箇所を装置外から見たところ（装置左端から 1.9m）

写真 6-40　生ごみ処理装置（発酵槽）内の堆積物を上から見たところ（右にオーガがあり，左が排出側）

写真 6-41　オーガ付近をかき出した状況（排出側方向を見たところ）

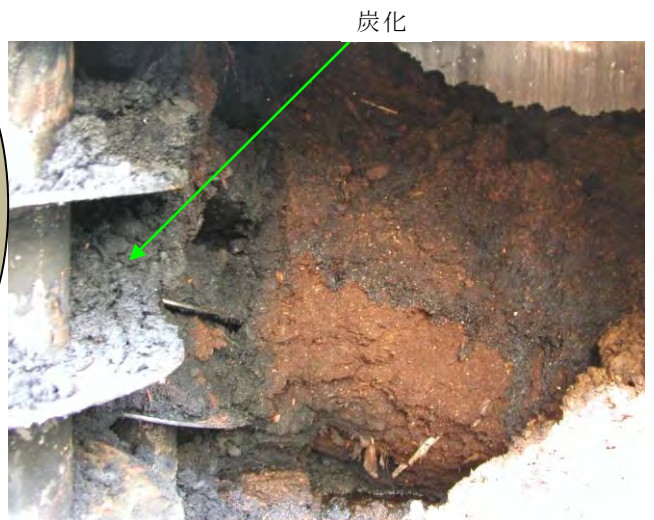



写真 6-42　生ごみ処理室内の堆積物を水平に見たところ（写真 6-40 とは逆に左にオーガがあり，右が排出側）

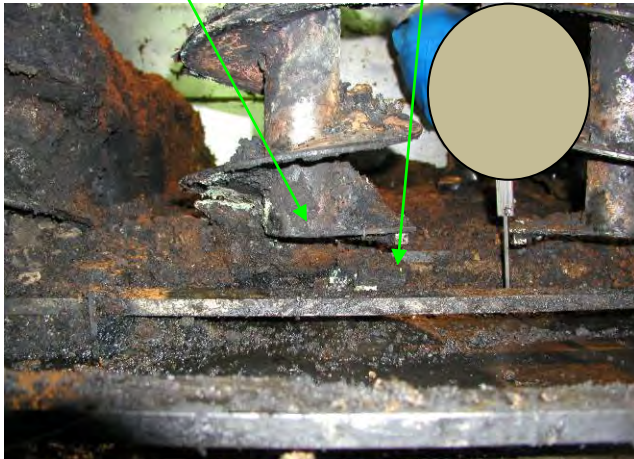



写真 6-43　オーガ下端と熱風吹き出しノズルの高さ（オーガ下端は発酵槽底面より約 10cm（8.5cm），ノズル上面は発酵槽底面より 5cm）

写真 6-44　乾燥槽を上から見たところ（消火水で水没している。写真では見えないが，下部にパドル翼が付いている）

写真 6-45　排出ダクト（呼び径 200）の変形状況（下流側に見たところ。生ごみ処理装置から微生物脱臭槽へ向かう方向）

写真 6-46　排出ダクト（呼び径 200）の変形状況（微生物脱臭槽に接続）

写真 6-47　排出ダクト（呼び径 200）内に取り付けてあった流量調整ダンパを上流側から見たところ）

写真 6-48　微生物脱臭槽内部を斜め上から見たところ（中央付近が円形に炭化している）

写真 6-49　微生物脱臭槽の側板を外したところ（木材チップ層が見える）

写真 6-50　生ごみ投入容器と中に入っていた生ごみ
（セロリ，えのきだけなどが見られる）

写真 6-51　添加用のおがくず

写真 6-52　フレコンバックに入った生成物（コンポスト化原料）

排気ダクト(呼び径 200)
天板の膨らみなし
布切れ
点検窓の軟化
たい積層
茶色
焼け
熱風噴き出しノズルより下は炭化
(黒色)
焦げ
ごみ投入容器(途中で停止)
炭化（黒色）
液体(消火水, 油状)
排出側
オーガ周りは炭化

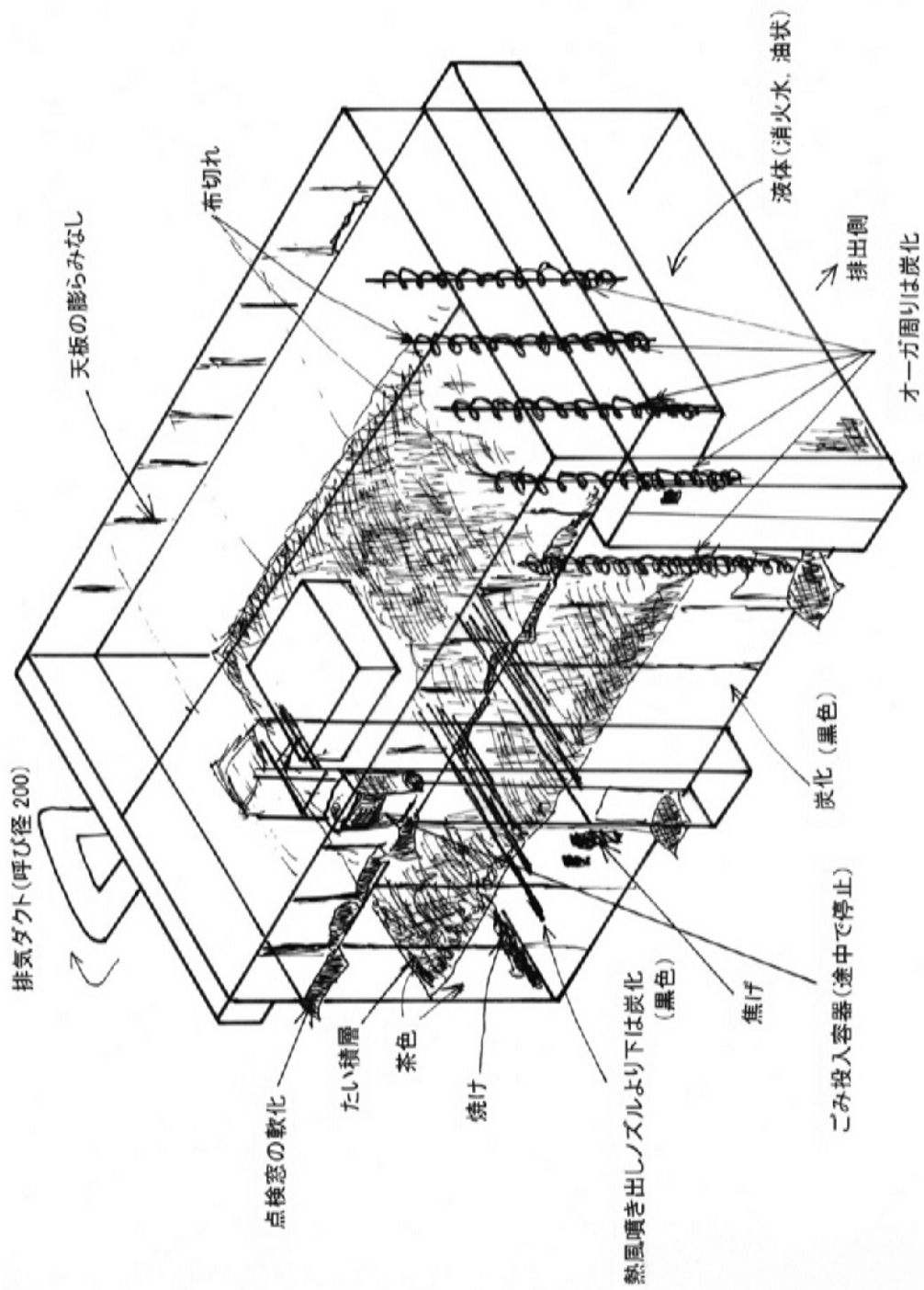



図 6-3 被害状況（模式図）

6.2 爆発前日の作業

(1)C 氏の作業

この日は火曜日であったが，B 氏ではなく，日ごろは収集車によるごみ収集を行っていた C 氏が急きょ作業にあたっていた。C 氏は前月の中旬の半日だけ，操作の補助をしながら操作方法を習った。この日は作業 2 回目であった。

午前 8 時過ぎに現場到着

ダンボールのトラックへの積み込み作業，ダンボールの仕分け作業

午前 10 時頃生ごみの処理開始

約 15 袋あった生ごみを順次分別台に載せ，空き缶，割りばし，ようじ等の生ごみ以外のものを除いて，野菜，フルーツ，肉，揚げ物などを投入用の容器に入れて，ごみ処理装置に投入した。容器 5 杯分の生ごみを投入。すべての生ごみを投入後，投入終了ボタンを押した。投入作業 1 回目。正午に終了

午後は生ごみ以外の一般ごみの分別作業。

午後 6 時頃から午後に出されたごみの処理作業 2 回目を開始

午後の生ごみはビニール袋 7， 8 個分。午前と同様に投入容器に入れて槽内に投入しようと投入開始ボタンを押し，投入容器が上端まで上昇し，投入操作を始めたが，肉片が投入口に付着した。そこで，棒（モップの柄だけのもの）を使い，肉片を槽内に入れていたところ，投入容器がリフトのマスト上部で止まってしまった（午後 6 時半頃)。

対処方法について，B 氏，次に A 氏に電話で指示を仰いだ。A 氏より，動かす手順，やり方が難しいため，明日自分（A 氏）が行うとの返事であった。停止した理由は定かではないが，C 氏によると，棒がどこかにふれたのか，機械を停止させるセンサーに棒か身体が感知されたのではないかという *[1]。

午後に出された生ごみの分別を済ませ，投入容器がマストの上部で止まった状態で午後 8 時頃帰宅した *[2]。

＊1)途中で投入容器が停止する場合について，メーカー担当者によると，次の 3 つが考えられるという。①稼働中に投入停止ボタンを押すこと，②投入容器がホッパーローダーの最下点に下りてくる前に最下点にあるリミットセンサーが何かに感知すること（この場合，投入容器が最下点に戻ったと判断して装置が作動する。プログラム上は 30 分後からオーガが作動するようになっていた)，③ホッパーローダーが過負荷になったこと。

＊2） 2 回目の排出作業が行われたかどうかは不明。

(2)発酵槽内の温度履歴

電源ブレーカは消防の放水によって落ちたと推定される。図 6-4 には，生ごみ処理装置制御盤のメモリに入っていた温度記録をメーカー担当者が外部のパソコンで読み取り，描画したものを示す。表 6-2 はその数値データである。

層中央だけ温度が高いのは，堆積層と側壁の間に隙間ができ，熱風吹き込みノズルから高温のガスが流れる路（みち）が形成していたと推察される。5H 前でも 131.9℃を記録していることから，この時間でもヒータスイッチが OFF にならずに熱風が吹き出し続けていたことが推察される。

表 6-1　生ごみ投入量記録表より（10 月 21 日～11 月 4 日分）

表省略

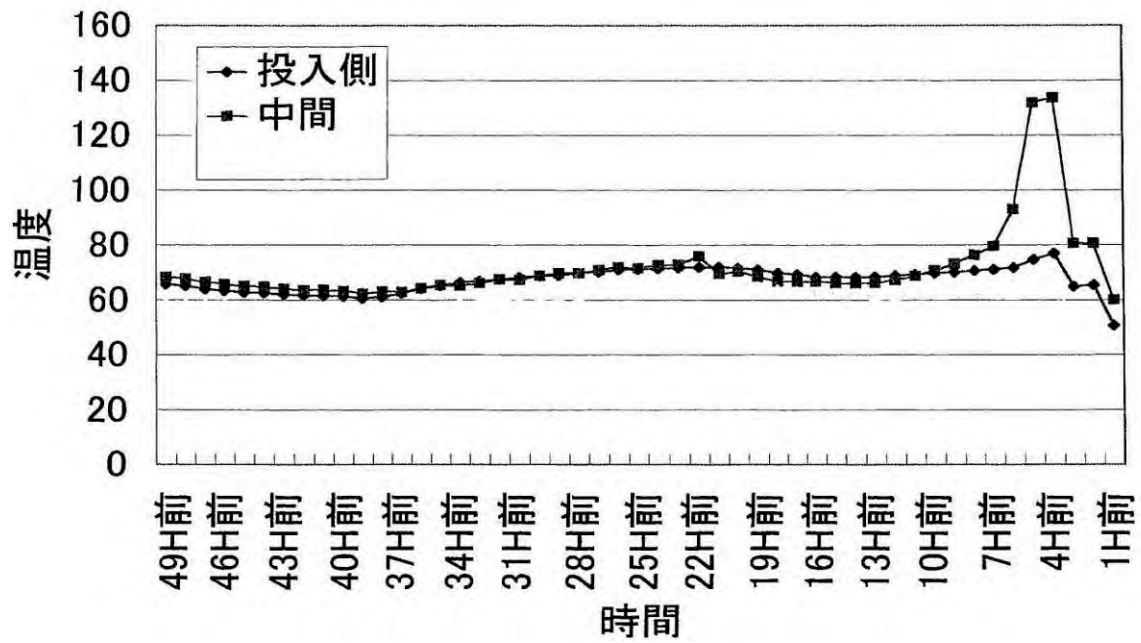



図 6-4　発酵槽の温度変化
0H（座標右端）は消防の放水で電源ブレーカが落ちた時間と推定
ただし，排出側は未プロット

表 6-2　発酵槽の温度変化
（図 6-4 の数値データ）

	投入側	中間	排出側
1H前	50.8	60.1	46.9
2H前	65.5	80.9	52.9
3H前	65	80.8	52.9
4H前	77	133.7	66.3
5H前	74.8	131.9	65.6
6H前	71.8	93.1	63.8
7H前	71.2	79.8	63.2
8H前	70.7	76.4	62.8
9H前	70.2	73.3	62.4
10H前	69.8	70.8	62.1
11H前	69.3	68.8	61.9
12H前	68.8	67.3	61.8
13H前	68.5	66.4	61.8
14H前	68.3	66.1	61.9
15H前	68.3	66.3	62.3
16H前	68.4	66.8	63.1
17H前	69.3	66.7	63.4
18H前	69.9	66.9	64
19H前	71.1	68.5	64.1
20H前	71.7	70.5	64.4
21H前	72.1	69.6	64.4
22H前	71.9	76	63.2
23H前	71.7	72.8	63.6
24H前	71.4	72.8	63.6
25H前	71.2	71.6	63.3
26H前	70.9	72	62.5
27H前	70.2	70.9	62.3
28H前	69.8	69.9	61.7
29H前	69	69.9	61.1
30H前	68.7	68.9	61
31H前	68.2	67.4	60.5
32H前	67.5	67.5	59.8
33H前	66.9	66.3	59.7
34H前	66.4	65.2	59.4
35H前	65.2	65.5	57.9
36H前	64.1	64.3	57.9
37H前	62.4	62.9	56.5
38H前	61.1	63.2	55
39H前	60.6	62.3	55.7
40H前	61.3	63.4	57
41H前	61.5	63.7	56.9
42H前	61.7	63.7	56.9
43H前	62.1	64	57.3
44H前	62.5	64.9	57.4
45H前	62.8	65.2	57.9
46H前	63.4	65.9	58.6
47H前	64	66.6	58.8
48H前	65.1	67.7	58.8
49H前	65.7	68.3	59.2

6.3 爆発前後の経過

4：32 頃　警備員（被災者）が巡回から警備室に戻ったところ，異臭を感じた。警備室と生ごみ処理室は約 9m 離れている。

4：40 頃　生ごみ庫（生ごみ処理室の東隣）に向かう。庫内中央の排水口から湯気。異変を感じたが，臭いには気づかなかった。ショッピングセンターの社員を呼びに行く。二人で生ごみ庫に行くと，庫内はもやが広がっていた。

4：48　火災報知機が作動。

警備員が消火器を取りにいったん警備室に戻る。

4 : 51　　災害発生場所の生ごみ室に煙が充満していたため，警察，消防に通報。

4 : 57　　消防隊到着。消防が室内に入り放水した後，室外に退去し，再度室内に入り放水。

5 : 09　　消火活動中に爆発発生。

消防署は,到着後,生ごみ処理施設の扉をわずかに開けたところ煙が充満していたので，空気ボンベを装着して室内に入り，周辺に放水するが，水圧が低いため，いったん外に出て水圧の上昇を確認し，再度入室した。バックドラフト＊を警戒しながら低い姿勢で2名が進入したところ，爆発し，飛ばされたという。聞き取りした隊員に怪我は無かったが，他の隊員も消火可能な状態であったため，再度入室した。ごみ処理機から発火していたため，放水した。

＊)火災では一般的にフラッシュオーバーを指す。

7. 爆発災害に関係する事柄

7.1 関連する爆発・火災事例

関連すると思われるごみ・廃棄物，堆肥物，貯蔵物の爆発，火災事例を新聞，学会誌等から調べ，以下に示す。ごみ清掃センターでの火災のほか，可燃物を大量に貯蔵した際の自然発火の例[1)]がある。あまり災害事例は無いが，し尿処理，汚泥処理では発酵によってメタンや水素などの可燃性ガスが発生するため爆発の危険性がある。なお，特に本件災害と類似する生ごみ処理装置における事例を資料４[2)]に示した。

平成 17 年 11 月 30 日：富山県

30 日午後 10 時 20 分頃,リサイクル施設の物置場に置いた炭が入った袋から出火，天井や壁計約 70 m^{2}が焼けた。施設では，家畜排泄物に炭を混ぜるなどして堆肥を作っている。木質チップから作られた炭の一部が高温になり燃焼したとみている。

平成 17 年 5 月 9 日：石川県

９日午前０時頃，市の埋め立て場の廃棄物約 20 m^{3}が焼けた。けが人はなかった。市によると，廃棄物からの自然発火は毎年１，２件あるという。

平成 17 年 4 月 29 日：三重県

29 日正午ごろ，廃材置き場から出火，古い木製の電柱など廃材約 1,500 m^{3}が焼けた。けが人はなかった。警察は，廃材が自然発火した可能性もあるとみている。

平成 16 年 9 月 30 日：福岡県

30 日午前５時 15 分頃，肥料置き場で，肥料の原料になる菌体原料が入った円柱型の袋から出火，約 5 m^{3}と倉庫の壁約 5 m^{2}が燃えた。警察は菌体原料から自然発火した可能性もあるとみて調べている。

平成 16 年 9 月 28 日：静岡県

28 日午後８時 10 分ごろ，ごみ固形燃料（RDF）製造施設で一時的にためる貯留フィーダ内から出火した。センターの作業員５人にけがはなかった。警察は，ごみが自然発火したとみている。

平成 16 年 2 月 17 日：三重県

17 日午後８時半頃，堆肥製造販売会社の資材置き場から出火，保管中のおがくず約 22,000 m^{3}の一部が焼けた。同社はおがくずを発酵させて堆肥を製造しており，おがくずが自然発火した可能性があるという。

平成 15 年 10 月 6 日：青森県

６日午前０時 50 頃,粉砕工場から出火,木造平屋建ての工場約 250 m^{2}が全焼した。警察は，工場が堆肥を扱っていたことから，自然発火の可能性もあるとみて出火原因を調べている。

平成 15 年 8 月 14 日と 19 日：三重県

8 月 14 日午前３時 10 分頃，三重県多度町にあるごみ固形燃料（RDF）発電所の RDF 貯蔵サイロで爆発が発生，作業員４人火傷。その後も発熱が続き，19 日午後２時 20 分頃，サイロ上部点検口から内部へ直接放水していたところ爆発が発生，天井部が吹き飛び，上にいた消防職員２人が死亡した。

平成 15 年 8 月 4 日：千葉県

木材チップや建築廃材などが堆積した山（約 16m，約 65,000m^3）から８月４日夜

に出た火が，消火活動にもかかわらず，くすぶり続けている。腐った木材が発酵し，自然発火したとみられ，８月５日以降も燃え続けている。

平成 15 年 8 月：東京都

飲食店で使用していた外国製の生ごみ処理機内のごみから出火した。資料４参照

平成 14 年 4 月 20 日：三重県

19 日午後 0 時 10 分頃，大学付属農場内でおがくずを不完全燃焼させてメタンや水素などを取り出し，発電する実験をしていたところ，音とともに火炎が噴き出した。教員と学生ら 9 名負傷。

平成 13 年 10 月 15 日：福島県

15 日午前 0 時頃，養鶏飼料工場から出火，鉄骨平屋建て工場約 305 m^2が全焼した。原料の食用油の廃油などが燃えたため，約 3 時間かかって消火した。警察の調べでは，原料が自然発火した可能性もあるとみている。

平成 13 年 2 月 24 日：山形県

24 日午前 6 時頃，油脂工場の 6 階建て脱臭塔から出火，4－6 階部分の約 120 m^2が焼けた。けが人はいなかった。警察は，空気に触れた油かすが酸化し，自然発火した可能性もあるとみている。

平成 12 年 9 月 19 日：神奈川県

19 日午前 7 時 50 分頃，ビール工場の鉄製サイロ（高さ約 23m，直径約 6 m）から出火，中にあった麦のかすが約六時間半にわたって，くすぶり続けた。警察や同工場は，麦のかすが自然発火した可能性もあるとみて調べている。乾燥させた麦のかすには，空気に触れると発熱する性質があり，熱がたまると自然に発火する可能性もあるという。

平成 11 年 2 月 1 日：静岡県

1 日午前 4 時半頃，牧場敷地内のおがくずを保管していた小屋から出火し，木造一部鉄骨平屋建て約 180 m^2が全焼した。警察の調べでは，この小屋には家畜の排せつ物を処理するためのおがくずと，処理した後の堆肥が約 4 m ほど積んであり，堆肥が自然発火して燃え広がったらしい。

平成 7 年 12 月 25 日：茨城県

鋼板製貯蔵サイロ 20 連からなるサイロ群の 1 つにおいて，約 44 t の固化した飼料用副原料（とうもろこしの胚芽の皮）を貯蔵中，突然サイロが爆発した。原因は，飼料粉の湿潤部分にカビが発生し，発酵熱と太陽の輻射熱が粉体層内で蓄積して自然発火し，一酸化炭素などの熱分解ガス，あるいは，ある種の菌が放出した水素，が空気と混合し爆発，粉じん爆発も併発したもの。

平成 2 年 12 月 4 日：奈良県

4 日午前 1 時 25 分頃，市の「環境清美センター」の第 1 ごみ貯留ピット（縦 8 m，横 24 m，深さ 10 m）のごみから出火，約 3,000 t のごみが同日夕方までくすぶりながら燃え続けた。同ピットには，粗大ごみを破砕機で粉々にしたものと，生ごみを貯留している。生ごみなどが発酵，圧縮されて高温になり，自然発火したのではないかと警察はみている。

平成 2 年 4 月 9 日：茨城県

9 日，堆肥乾燥場で乾燥場の屋根などが焼ける火事が起きた。豚のふん尿堆肥が発

酵して過熱，ベニヤ板の囲いが燃え出した，とみられている。警察によると，県内で堆肥が原因の火災はほとんど例がなく，記録も残っていない。

7.2 リサイクル法体系の整備と最近の動向

(1)リサイクル法

国内では循環型社会の形成を推進するため,廃棄物の適正処理とリサイクルの推進のための法体系が整備されてきた。

①容器包装リサイクル法（容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律）：平成 12 年 4 月施行
②家電リサイクル法（特定家庭用機器再商品化法）：平成 13 年 4 月施行
③食品リサイクル法（食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律）：平成 13 年 5 月施行
④建設リサイクル法（建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律）：平成 12 年 11 月施行：平成 14 年 5 月完全施行
⑤自動車リサイクル法（使用済自動車の再資源化等に関する法律）：平成 15 年 1 月第 1 次施行（定義，責務等の一部の規定）：平成 16 年 7 月第 2 次施行（解体業等の許可開始等）：平成 17 年 1 月完全施行

このほか環境関係の法律としては，グリーン購入法，資源有効利用促進法，廃棄物処理法がある。

食品リサイクル法の趣旨は，「食品の売れ残りや食べ残しにより，又は食品の製造過程において大量に発生している食品廃棄物について，発生抑制と減量化により最終的に処分される量を減少させるとともに，飼料や肥料等の原材料として再生利用するため，食品関連事業者（製造，流通，外食等）による食品循環資源の再生利用を促進する」である。

本法律の基本方針では，再利用等の量に関する目標を平成 18 年度に発生する量の 20%以上と定めている。主務大臣は，年間の食品廃棄物等の発生量が 100 t 以上の食品関連事業者に対し，その再生利用等が基準と照らして著しく不十分と認められるときは，勧告，公表及び命令を行うことができる。本法律における罰則対象は 100 t 以上の食品関連事業者となるが，年間発生量が 100 t 未満であっても，すべての食品関連事業者に再生利用等を実施することを義務づけている。食品リサイクル法の制定は，食品関連事業者に対して生ごみ処理装置の導入を後押ししたと言える。今年度末に向かい，なおいっそうの生ごみ処理装置の使用が促進されるのではないかと予測される。

(2)平成 17 年食品循環資源の再利用等実態調査（農林水産省）

農林水産省大臣官房統計部によると，その調査概要は以下の通りである [3)]。

①食品産業における平成 16 年度の食品廃棄物等の年間発生量は，1,135 万 8 千 t で前年並みとなった。ただし，平成 12 年度 1,076.7 万 t，平成 13 年度 1,091.9 万 t，平成 14 年度 1,131.4 万 t，平成 15 年度 1,134.8 万 t。
②食料循環資源の再生利用率は,食料産業全体では 51%,前年に比べ 2 ポイント増加し,本調査を開始した平成 12 年度以降，増加傾向で推移している。
③食品廃棄物等の発生の抑制 *[1)]割合は 4%，減量 *[2)] 率は 3%でいずれも前年並みと

な

った。

＊1）発生の抑制とは，食料廃棄物等の発生を未然に抑制することをいう。

＊2）減量とは，食料廃棄物等の量を脱水，乾燥等の方法により減少させることをいう（食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（平成 12 年 6 月 7 日），第 6 条第 6 項）

(3)生ごみ処理機の性能基準等

①「業務用生ごみ処理機　性能基準（改訂版），性能基準（改訂版）解説書」2004 年 5 月 19 日（食品リサイクル機器連絡協議会）

安全対策/保護装置について，機器を安全に使用するための必要な以下の安全対策が取られているかについて表示する。各社統一基準を設け，仕様に記載する。ただし，ＰＬ法の観点から最低限必要な安全対策という位置づけである。

・漏電防止
・投入口からの転落防止
・投入口の施錠
・かくはんの自動停止
・過昇温防止
・過負荷防止

②東京都条例第 65 号（昭和 37 年 03 月 31 日）における乾燥設備では，設置に際し，内部容積 1 m^3以上と 1 m^3未満に応じてそれぞれ離隔距離をとる。

(4)本件災害に関する災害調査報告等

①省略

②若倉正英，最近の廃棄物・リサイクル工程での火災爆発事故と問題点，産廃源流，10 月号（2004），16-27

③省略

④省略

(5)通達関係

①「加熱を伴う業務用生ごみ処理機における安全対策指針」（環廃対第 050622001 号平成 17 年 6 月 22 日）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課長発，各都道府県廃棄物行政主管部（局）長宛

②「加熱を伴う業務用生ごみ処理機における安全対策指針を踏まえた防火安全対策の徹底について」（消防安第 124 号平成 17 年 6 月 22 日）消防庁防火安全室長発，都道府県消防主管部長，東京消防庁・指定都市消防長宛

7.3 食品の成分

生ごみの可燃性をもとに，主な食品の成分を表 7-1 に，脂肪酸を表 7-2 に示す。豆類，肉類，魚介類には脂肪酸を多く含むが，青魚の不飽和脂肪酸の割合が高い。各々食品の油脂を見ると，パルミチン酸，ステアリン酸，オレイン酸，リノール酸の割合が高い。

表 7-1 主な可食部 100g あたりの食品の成分より抜粋 [4] （表中の Tr は微量を示す）

食品群	食品名	水分 [g]	灰分 [g]	無機質								脂肪酸		
				ナトリウム [mg]	カリウム [mg]	カルシウム [mg]	マグネシウム [mg]	りん [mg]	鉄 [mg]	亜鉛 [mg]	銅 [mg]	飽和 [g]	不飽和 一価 [g]	不飽和 多価 [g]
穀類	めし（精白米）	60.0	0.1	1	29	3	7	34	0.1	0.6	0.1	0.1	0.07	0.10
野菜類	セロリ	94.7	1.0	28	410	39	9	39	0.2	0.2	0.03	0.02	Tr	0.03
	ほうれん草	92.4	1.7	16	390	49	69	47	2.0	0.7	0.11	0.04	0.02	0.17
	レタス	95.9	05	2	200	19	8	22	0.3	0.2	0.04	0.01	Tr	0.03
	キャベツ	92.7	0.5	5	200	43	14	27	0.3	0.2	0.02	0.02	0.01	0.02
	たまねぎ	89.7	0.4	2	150	21	9	33	0.2	0.2	0.05	0.01	Tr	0.03
	トマト	94.0	0.5	3	210	7	9	26	0.2	0.1	0.04	0.02	0.01	0.03
	白菜	95.2	0.6	6	220	43	10	33	0.3	0.2	0.03	0.01	Tr	0.03
きのこ類	えのきたけ	88.6	0.9	2	340	Tr	15	110	1.1	0.6	0.1	0.02	0	0.08
	しいたけ	91.0	0.7	2	280	3	14	73	0.3	0.4	0.5	0.04	0.01	0.15
豆類	大豆 (乾燥)	12.5	5.0	1	1900	240	220	580	9.4	3.2	0.98	2.57	3.61	10.49
果実類	アボガド	71.3	1.3	7	720	9	33	55	0.7	0.7	0.24	3.18	10.85	2.15
	温州みかん	86.9	0.3	1	150	21	11	15	0.2	0.1	0.03	0.01	0.02	0.01
	バナナ	75.4	0.8	Tr	360	6	32	27	0.3	0.2	0.09	―	―	―
	りんご	84.9	0.2	Tr	110	3	3	10	Tr	Tr	0.04	0.01	0	0.02
魚介類	まあじ	74.4	1.3	120	370	27	34	230	0.7	0.7	0.08	0.86	0.81	0.95
	きはだまぐろ	74.0	1.3	43	450	5	37	290	2.0	0.5	0.06	0.08	0.05	0.11
	さんま（生）	55.8	1.0	130	200	32	28	180	1.4	0.8	0.11	4.23	10.44	4.58
	まさば	65.7	1.2	140	320	9	32	230	1.1	1.0	0.10	3.29	3.62	1.91
肉類	牛かたロース	47.9	0.7	42	210	3	14	120	0.7	4.6	0.06	12.0	20.22	1.13
	豚ロース	60.4	0.9	42	310	4	22	180	0.3	1.6	0.05	7.3	7.95	1.78
	若鶏肉もも	69.0	0.8	59	270	5	19	160	0.4	1.6	0.04	3.9	5.83	1.97
卵類	全卵	76.1	1.0	140	130	51	11	180	1.8	1.3	0.08	2.64	3.72	1.44
油脂類	オリーブ油	0	0	Tr	0	Tr	0	0	0	0	0	14.0	70.74	9.45
	なたね油	0	0	0	0	Tr	0	Tr	0	Tr	0	6.1	57.4	30.7

表 7-2　食品可食部 100 g あたりの脂肪酸組成表より抜粋 [5]（mg）

食品群	食品名	飽和脂肪酸			不飽和脂肪酸（一価）	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸（一価）	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸（一価）	不飽和脂肪酸（多価）	不飽和脂肪酸（多価）	
		ミリスチン酸 14 : 0	ペンタデカン酸 15 : 0	パルミチン酸 16 : 0	パルミトレイン酸 16 : 1	ヘプタデカン酸 17 : 0	ヘプタデセン酸 17 : 1	ステアリン酸 18 : 0	オレイン酸 18 : 1	リノール酸 18 : 2 n-6	リノレン酸 18 : 3 n-3	その他
穀類	めし（精白米）	7	0	137	1	0		11	113	167	6	
野菜類	セロリ	0	1	13	0	0		1	1	27	5	
	ほうれん草	0	0	15	2			1	6	17	58	
	レタス	0	0	16	1	0		2	2	22	25	
	キャベツ	0	0	5	0	0	0	1	3	5	4	
	たまねぎ			8	0	0	0	0	3	25	1	
	トマト	0	0	15	0	0		3	8	25	5	
	白菜	0	0	8	0			1	4	2	23	
きのこ類	えのきたけ	1		34				4	8	127	77	
	しいたけ	1	1	28	1			2	4	123		
豆類	大豆	17		1,934	17	17	17	533	3,551	8,668	1,817	
果実類	アボガド			3,107	1,311		16	81	9,481	2,023	129	
	温州みかん	0	0	5	2	0	0	1	19	7	5	
	バナナ											
	りんご	0	0	7	0	0		1	1	19	1	
魚介類	まあじ	191	26	1,187	387	52	52	361	1,166	46	26	
	きはだまぐろ	2	0	38	3		1	20	22	2	0	
	さんま（生）	1,002	40	1,464	567	119	92	251	871	224	158	
	さば	540	54	2,496	688	175	94	661	3,575	189	108	
肉類	牛かたロース	768	74	6,991	1,388	149	223	2,851	11,329	496	50	ミリストレイン酸（14:1）347
	豚ロース	373		6,055	722	70	70	3,377	9,898	2,213	140	
	若鶏肉もも	113		2,961	882		13	806	5,443	1,915	101	
卵類	鶏卵，全卵	27	9	2,287	328	18	27	783	3,972	1,221	27	
油脂類	オリーブ油			9,306	658			3,008	70,500	9,776	752	
	なたね油			3,768	188			1,601	55,201	20,536	10,174	
	調合サラダ油(配合比，なたね油：大豆			5,570	94			2,171	45,784	29,453	9,346	

	油=7:3)											

7.4 爆発に関与したと考えられるものと事象の抽出

6 章の被害状況と過去の爆発・火災の災害事例から類推し，予め実験計画，仮説を立てるため，爆発に関与したものと考えられるものと事象を列挙した。

①ごみとその投入に起因

1)ごみ

(a)想定外の生ごみの混入，いつもと異なるごみ

(b)油

(c)金属

(d)微生物

(e)おがくず

(f)消石灰

(g)特異な発熱挙動を示す物質の混入，あるいはごみ回収時の混合による物質の生成

2)作業方法

(a)作業方法，装置取り扱いの無知

(b)作業方法，作業手順の勘違い

(c)作業手順の見落とし，忘却

(d)作業手順の省略

(e)作業の短縮

(f)作業の放棄

(g)その他

②装置に起因

1)制御系

(a)正常運転時の制御系，運転サイクル（温度，動作時間の設定）の不整合

(b)異常の際の回避機能，フェールセーフ機能が不適切

(c)ごみ投入用ホッパーローダーのリミットスイッチ

(d)ある温度までヒータが停止しない構造

(e)反応に対する投入量・排出量

(f)その他

2)構造

(a)発酵槽底部とオーガ下端の間（約 10 cm）に内容物の一部が残る構造

(b)不適切な払い出し方法

(c)熱風噴き出しノズルの形状，配置方法

(d)その他

3)材質

(a)点検窓用として熱軟化性のプラスチック（PET 樹脂）を使用

(b)排気ダクト用として塩ビ管を使用

(c)内壁に高密度 PE 板を使用

(d)むき出しの電線ケーブル
(e)その他
4)温度測定
(a)熱電対の選定間違い（測定範囲内を精度よく適切に測定できない）
(b)熱電対の断線，破損
(c)堆積層内の発熱を早期に的確に検知できない位置に熱電対を設置
(d)測定点数
(e)熱電対の外れ
5)ガス濃度の未測定
6)動力機器（モータ）
(a)高負荷運転による動力機の異常発熱
(b)回転部の詰まり
(c)磨耗などによる回転軸の偏心の発生
7)電気回路，配線
(a)漏電，何らかの短絡
(b)電源不安定による回路の誤動作
(c)結線間違い
(d)電子基板，端子の腐食
(e)電線ケーブルの被覆の劣化による発熱
(f)電線ケーブルの被覆の劣化による短絡
(g)高負荷による発熱
(h)その他
③管理方法等に起因
1)温度管理
2)装置取扱書
3)操作手順書
4)防災マニュアル
④天候，気温変化に起因
⑤非定常作業に起因
1)ごみ投入用ホッパーローダーの停止
2)緊急時の対処方法
3)消防隊の対応
(a)静電気対策
(b)フラッシュオーバー
(c)放水に伴う発火

第 7 章の参考文献

1)駒宮功額, 大量堆積有機物の自然発火, セイフティダイジェスト, 第 50 巻 12 号(2004), 30-38
2)火災発生事例－外国製の生ごみ処理機から出火した火災，火災，第 54 巻 6 号（平成 16

年 12 月)，57-60
3)農林水産統計，平成 17 年食品循環資源の再利用等実態調査結果の概要，平成 17 年 10 月 13 日)，農林水産省大臣官房統計部
4)科学技術庁資源調査会編，新食品成分表，一橋出版，(2005)
5)五明紀春，長谷川恭子，たんぱく質の価値を決めるアミノ酸＆油脂の性質を決める脂肪酸組成表，女子栄養大学出版部，(1993)
6)黒崎富裕，八木和久，油脂化学入門，産業図書，(1995)

8. 測定･実験

8.1 発酵槽から試料の採取と分析

(1)試料の採取

・採取日：●月●日（合同調査の現場にて）

・採取箇所：発酵槽内，オーガと乾燥槽の間の堆積層の底部(炭化していない部分)

・試料の状態：液状

(2)採取試料の DSC 測定

現地から採取した試料について吸発熱に関する熱量，その開始温度を調べるために，試料の有機溶媒による前処理の後，DSC 測定（示差走査熱量測定）を行った。得られた結果を図 8-1 に示す。

・測定装置：DSC2920（TAインストルメンツ）

・測定条件：ステンレスセル；開放，空気雰囲気下　流量；50 mL/min，試料量；3～4 mg

・測定結果：発熱量；3,433 J/g（平均値），発熱開始温度 T_s；169.7℃（平均値）

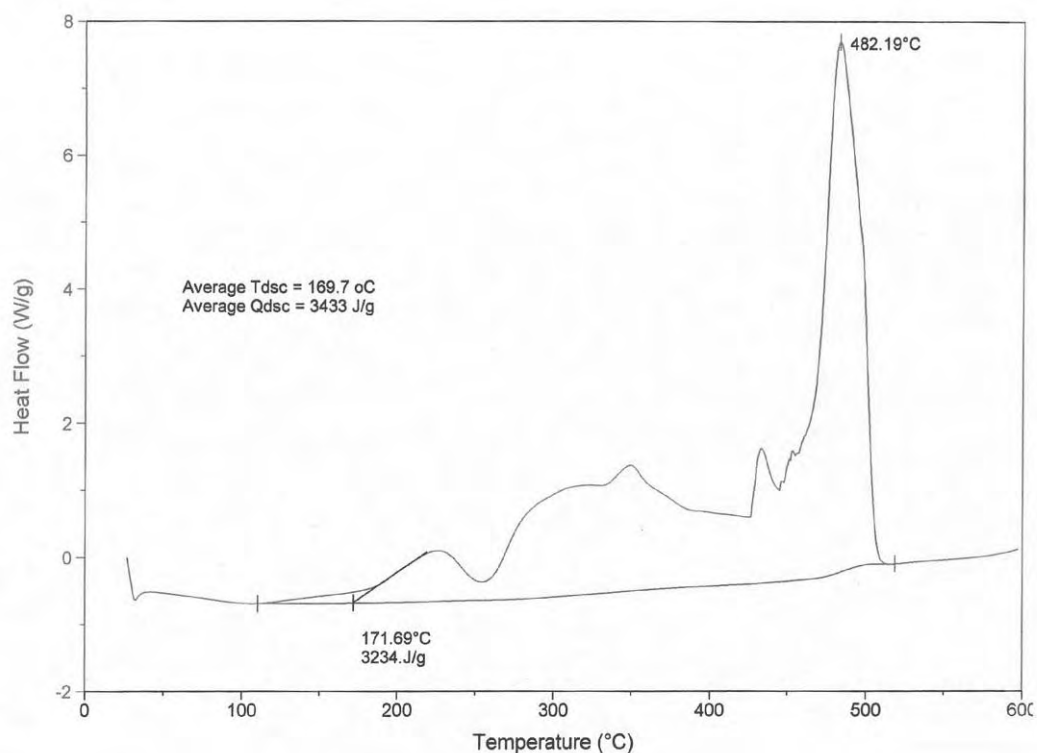



図 8-1　現場で採取した試料の DSC 曲線

(3)採取試料のガス分析

堆積物は時間とともに発酵が進み，ガスを発生する。火災の発生とその後の注水に伴い堆積物の性状が変化するが，発生したガスの種類と量が必ずしも爆発前のものとは判断できないため，ガス分析は行わなかった。

8.2 油脂の熱分析

(1)主な油脂の DSC 測定

現場で採取した試料と標準的な脂肪酸（油脂）の吸発熱挙動を比較するため，飽和脂肪酸としてパルミチン酸を，不飽和脂肪酸としてオレイン酸とリノール酸を試料とし，DSC測定を行った。

・試料：パルミチン酸（特級95%，関東化学），オレイン酸（鹿1級，含有量80%以上，関東化学），リノール酸（99%，関東化学）

・測定装置及び測定条件：上記8.1(2)の測定と同様

・測定回数：３回

・測定結果：(a)パルミチン酸について，発熱量；2,470Ｊ/g，T_s； 222.5℃

(b)オレイン酸について，発熱量；6,677Ｊ/g，T_s；185.9℃

(c)リノール酸について，発熱量；6,905J/g，T_s；124.9℃

得られた結果の一例をそれぞれ図8-2～8-4に示す。図8-2では，60～70℃あたりに吸熱が見られるが，これはパルミチン酸の融点が62～63℃（試料メーカのMSDS）であり，融解するためである。いずれの試料も発熱側に複数のピークが見られる。各油脂の測定値と現場で採取したものの測定値並びにDSC曲線の比較により，現場で採取されたものには，これらの油脂類を含んでいることが推定できる。

発熱開始温度よりも高くなると，相変化のほか，酸化，熱分解，重合などの反応により発熱を継続することが推測できる[1-5]。不飽和結合を有するオレイン酸やリノール酸は自動酸化を起こしやすい。実験結果によると，リノール酸の発熱開始温度は124.9℃であり，生ごみ処理装置の熱風温度120～130℃程度であることがわかった。生ごみの中にはリノール酸を含むものがあり，この測定結果からすると，120～130℃では発熱の危険性がある。

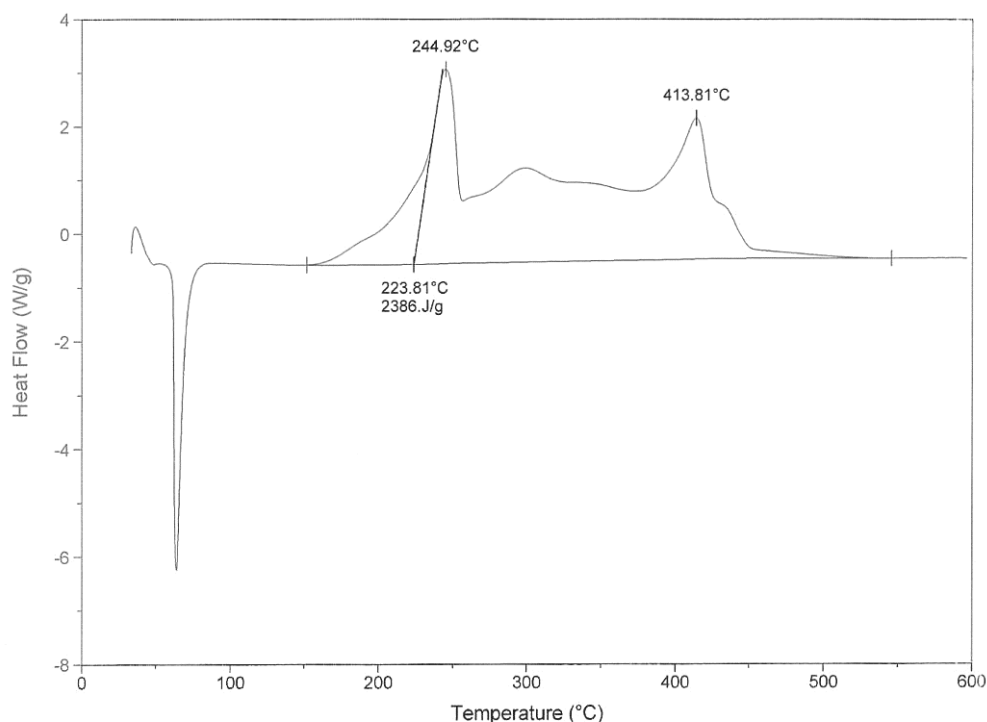



図 8-2　パルミチン酸の DSC 曲線

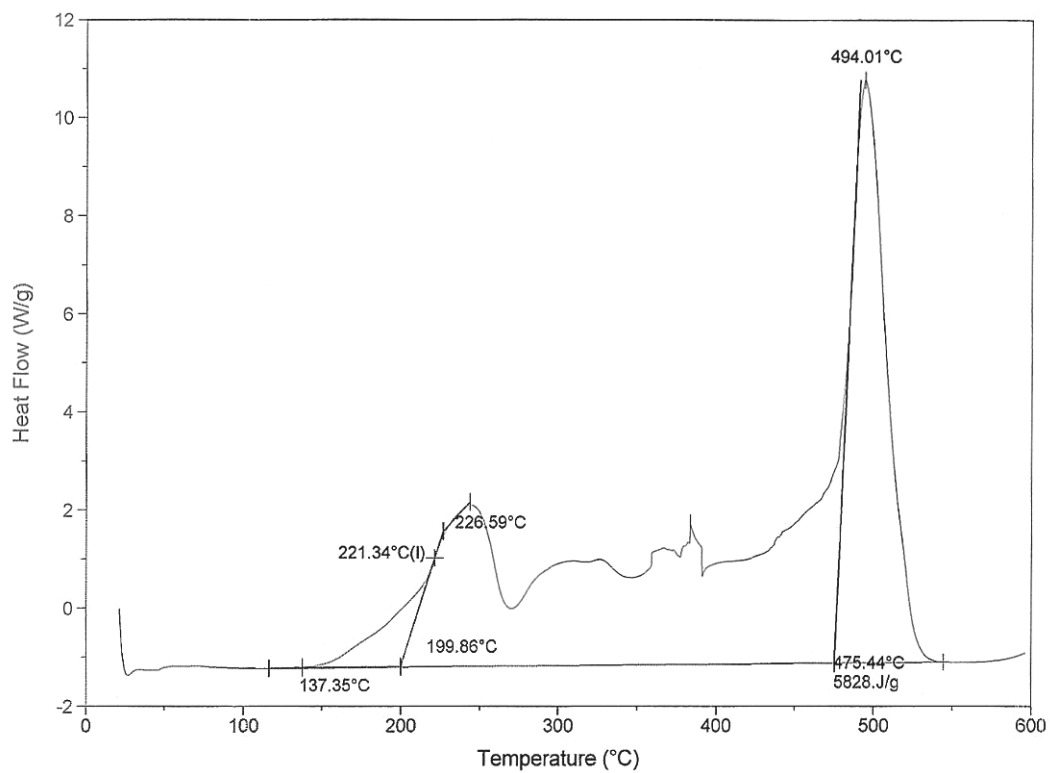



図 8-3　オレイン酸の DSC 曲線

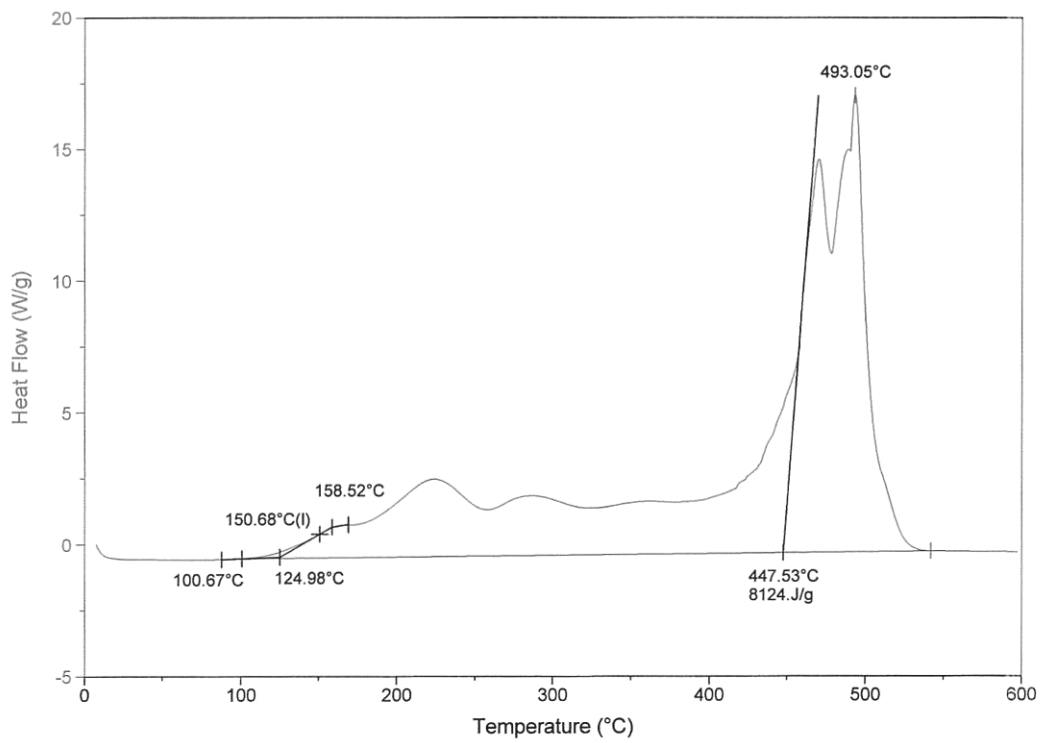



図 8-4　リノール酸の DSC 曲線

(2)主な油脂のＴＧ測定

油脂を加熱すると気化により発煙を生じ，発煙点は，肉眼で連続的な発生を見られる最低温度として定められる[2)]。このような状態変化は重量変化として現れる。油脂を加熱すると，酸化反応による過酸化物の生成，熱分解，重合さらに燃焼反応により重量変化が生じる。主な油脂の加熱の際の重量変化を調べるため，TG測定（熱重量測定）を行った。

・試料：パルミチン酸，オレイン酸，リノール酸。以上，DSC測定と同じ試料。
　サラダ油
・測定装置：TGA-51（島津製作所）
・測定条件：空気10 mL/min，2 ℃/min（室温～450℃まで），白金試料皿，試料量24～36.5mg
・測定回数：２回
・測定結果：(a)パルミチン酸について，重量増加ピーク温度；なし，減量開始温度；216.0℃
　(b)オレイン酸について，重量増加ピーク温度；なし，減量開始温度；223.2℃
　(c)リノール酸について，重量増加ピーク温度；134.2℃（重量増加；0.71%），減量開始温度；232.7℃
　(d)サラダ油について，重量増加ピーク温度;191.1℃(重量増加;0.47%)，減量開始温度；292.5℃

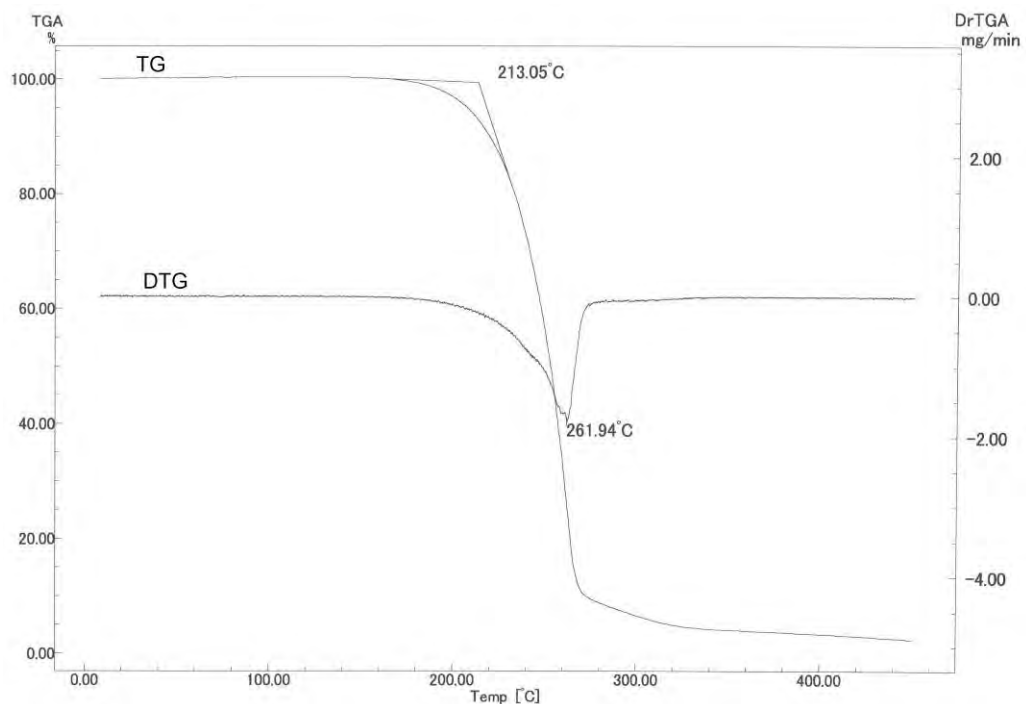
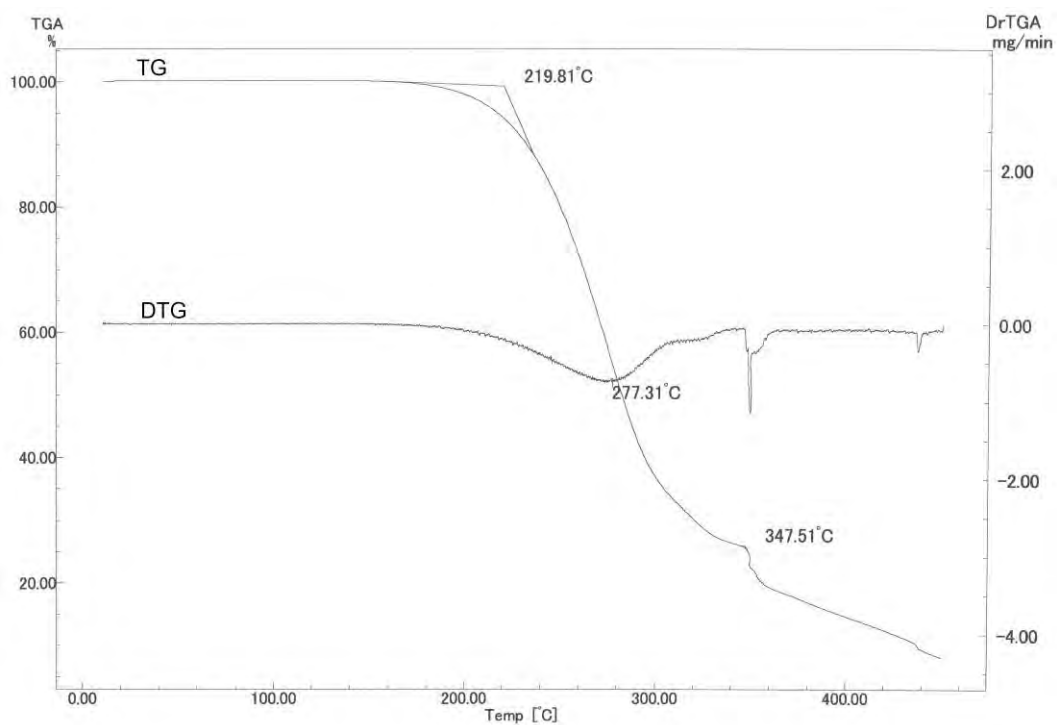



図 8-5　パルミチン酸の TG 曲線

図 8-6　オレイン酸の TG 曲線

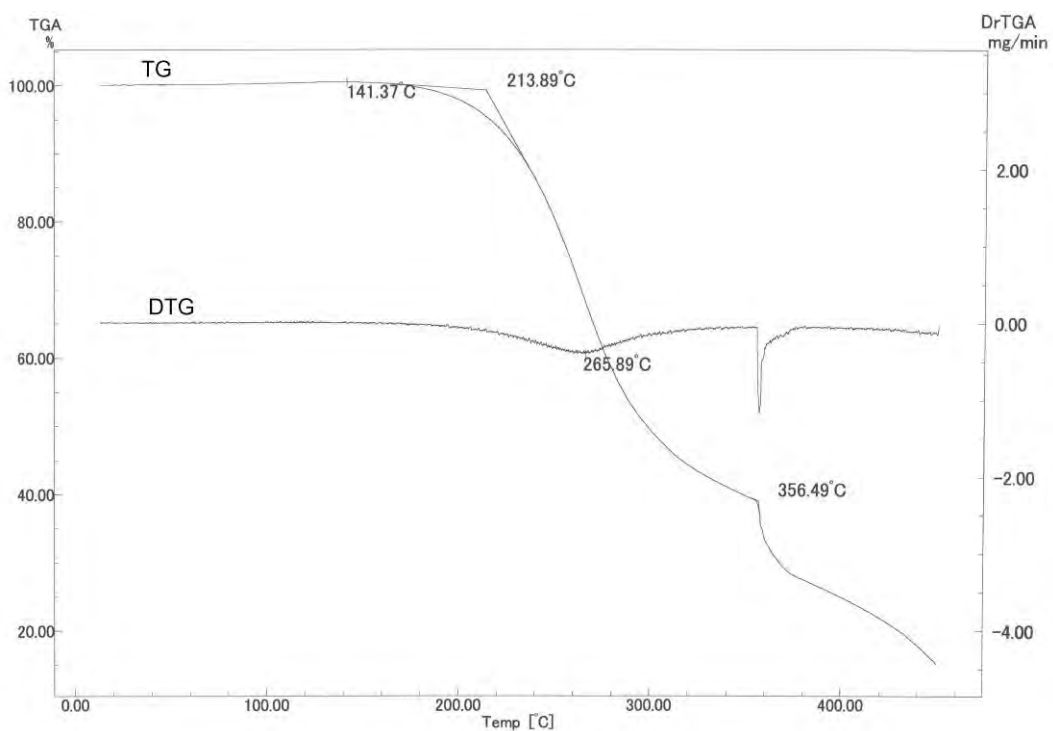



図 8-7　リノール酸の TG 曲線

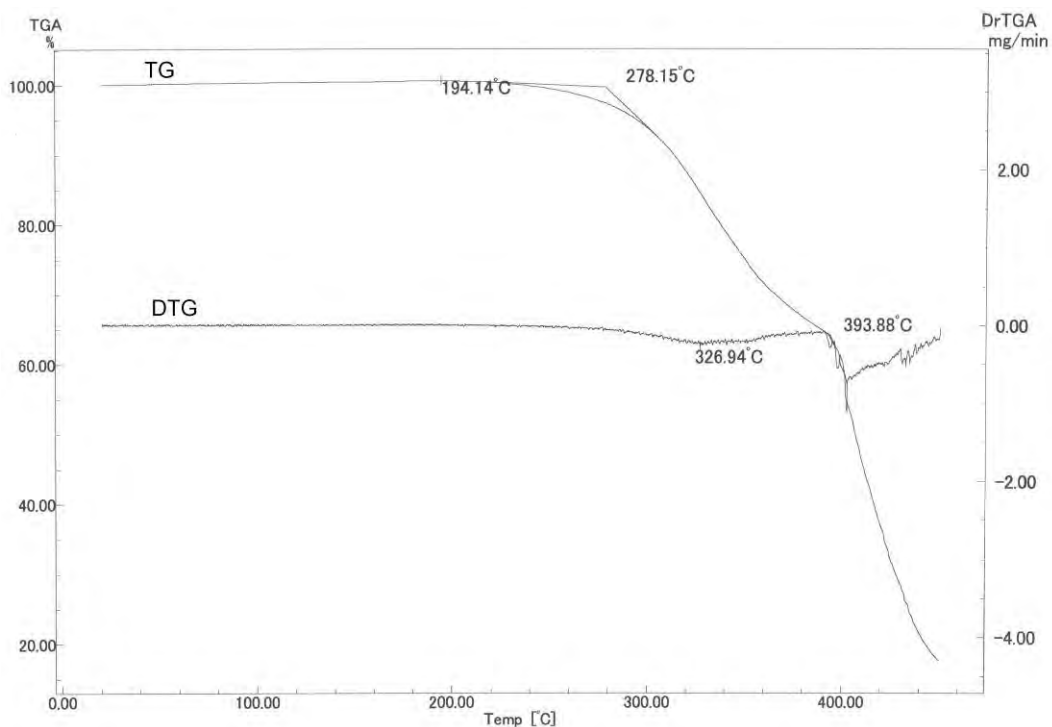



図 8-8　サラダ油の TG 曲線

各図には，TG 曲線の一次微分を DTG として併せて示した。試料メーカーの MSDS によると，リノール酸の引火点は 110℃，発火点はデータなし，オレイン酸の引火点は 189℃，発火点は 363℃，パルミチン酸はそれぞれデータなし，とある。オレイン酸について，引火点に対する重量減少は，測定精度の範囲内では見られなかったが，油脂の主成分であるトリグリセリドが分解，347.5℃で着火したものと判断された。リノール酸については，141℃まで自動酸化による過酸化物（ハイドロパーオキサイド）の生成があり，昇温とともに分解し，次に主成分のトリグリセリドが分解し，そのまま昇温を続けると，356.9℃で着火したと判断された。図 8-8 のサラダ油についても若干の重量増加が見られ，その後の急激な重量減少より，393.9℃で着火したと判断された。図 8-5 のパルミチン酸については,主にガス化により単調に重量が減少し,加熱温度 450℃までに着火は見られなかった。

8.3 おがくずの基本特性

(1)おがくずの粒度分布とかさ密度の測定

●●●●から提供を受けた生ごみ処理装置に投入していたものと同等のおがくずとともに，比較のため，研究所近隣のホームセンターで入手したおがくずも試料として実験に用いた。外観を写真 8-1 に示す。

試料：おがくず（同等品を●●●●より提供）
　　　おがくず（研究所近隣のホームセンターで入手）

①粒度分布測定装置による測定

・測定装置：湿式レーザ回折式粒度分布測定装置（マスターサイザーマイクロ，Malvern 社）

・粒度分布測定装置による結果：ホームセンター入手のおがくずについて，中位径 D(v,0.5)；119μm，面積径D（3，2）；38μm

●●●●のおがくずは,測定装置の計測範囲を超える塊状,針状のものを含むため,測定しなかった。

②ふるい分けによる粒度分布測定

表 8-1 に測定結果を示す。

③かさ密度の測定結果

●●●●提供品について，160 kg/m³

ホームセンター入手品について，179 kg/m³

(a)●●●●提供品

(b)ホームセンター入手品

写真 8-1　おがくずの外観

表8-1　ふるい分けによる粒度分布（質量基準）

目開き［μm］	●●●●提供品［wt%］	ホームセンター入手品［wt%］
＋1700	32.89	0.100
-1700	56.6	13.5
-425	3.65	8.80
-300	4.07	32.2
-149	1.56	23.1
-74	1.32	22.3

注）符号＋はふるい目を通過しないもの（当該目開きよりも大きいもの），
符号－はふるい目を通過したもの（当該目開きよりも小さいもの）

(2)おがくずの水分率測定

赤外線水分計による測定により，次の結果を得た。

・測定装置：赤外線乾燥式電子水分計（IB-30，ワイエムシィ）
・測定回数：２回
・測定結果：(a)●●●●提供品　水分率10.6 %（平均値）
(b)ホームセンター入手品　水分率8.4 %（平均値）

8.4 おがくず，油脂の燃焼特性

当初，生ごみ原料（野菜，肉，魚等）の種類と量を適当に組み合わせ，実験室で模擬発熱実験を実施する予定であったが，原料の種類，量，成分比，温度，ph値，空気流入速度，かくはん速度・時間，スケール効果など実験変数，設定すべき条件が多く，現時点では，実験実施が困難であることがわかった。

これに代わる実験を検討した結果，食品成分表から生ごみ原料の成分を推定し，生ごみ中の不飽和脂肪酸（油脂）の含有が発熱，着火に大きく寄与した可能性が高いことがわかり，油脂をおがくずに含有した場合の着火温度を調べることにした。

(1)おがくずの燃焼性状

おがくず単独あるいはそれに油脂を浸潤させたものを断熱材（セラミックスファイバーボード，多孔性，厚さ10 mm）に載せ，ガスマッチで着火させた場合の燃焼の様子を観察した（写真8-2）。おがくず単独の場合は，火炎は小さく，むしろくん焼することがわかった。これに対して，油脂を浸潤させた場合は，火炎は大きく，輝炎を発して燃焼することがわかった。

(a)おがくず（●●●●）

(b)おがくず（●●●●）＋パルミチン酸

写真 8-2　燃焼の様子

(c)おがくず（●●●●）＋オレイン酸

(d)おがくず（●●●●）＋リノール酸

(e)おがくず（●●●●）＋サラダ油

(f)おがくず（ホームセンター入手品）

写真 8-2　燃焼の様子（つつき）

(2)堆積状態における最低着火（発火）温度

①測定方法及び測定装置

熱面上に堆積した状態での着火温度（くすぶり温度）を測定した。実験では，温度を制御できるホットプレート上に直径 100 mm 一定，厚さ（高さ）5 ，13，50 mm の 3 種類のステンレス製リング（外枠）を設置し，そのリングの中に試料を堆積させた。実験方法は，国際電気標準会議 IEC 61241-2-1-Ed.1.0 や米国材料試験協会 ASTM E2021 を参考とした。試料は，予め設定した温度になった後，2 分以内にリング内に堆積させるようにし，上面を平滑にした。堆積層の底面の温度と層中心の温度を測定し，中心の温度（堆積円筒の中心軸で厚さの半分高さ）よりも 20℃以上高くなった場合を着火したと判定した。試料は，おがくず単独の場合とそれに油脂を浸潤した場合とした。

・測定結果：(a)おがくず（●●●●）について，5 mm の場合；330℃，13 mm の場合；280℃，50 mm の場合；240℃

(b)おがくず（●●●●）＋パルミチン酸（50%＋50%［wt］）について，13 mmの場合；350℃

(c)おがくず（●●●●）＋オレイン酸（50%＋50%［wt］）について，13 mmの場合；340℃

(d)おがくず（●●●●）＋サラダ油（50%＋50%［wt］）について，13 mm

の場合；350℃

(e)おがくず（ホームセンター入手品）について，13 mmの場合；260℃

(f)おがくず（ホームセンター入手品）＋オレイン酸（50%＋50%［wt]）について，13 mmの場合；260℃

底面温度を変えた場合の着火の有無を表 8-2 から 8-5 に示す。また，図 8-9 には，実験結果を整理し，堆積層の高さと最低着火温度の関係を示す。堆積層の高さが増すと着火温度が低くなることがわかる。このような傾向は，有機物が堆積した場合に一般的に見られるものと同様である[6)]。写真 8-3 と 8-4 に実験の様子の一例を示す。

おがくずと油脂を質量比 50%で混合したが，湿潤した場合の最低着火温度はおがくず単独のそれよりもむしろ高くなることがわかった。ここでは，おがくずに油脂が浸潤した状態では，油脂の気化のための吸熱が，層内の発熱よりも大きいためであると考えられる。しかし，火災事例の中では，布切れに油が浸み込んだ状態で自動酸化により発熱が進み，発火に至ることがある。このことからすると，おがくずが乾燥したり，劣化したりすることで表面の多孔性が増し，表面積が大きい状態にあって，適度な割合で油が浸潤した状態では，むしろ発火する温度は低下する可能性が高い。

表 8-2　おがくず（●●●●）の堆積状態の最低着火温度の測定結果

厚さ［mm］	測定順序	底面温度[℃]	判定：○着火，×不着火	備　　考
5	1	280	×	初め薄い白煙を上げる（水蒸気か）。以下同様。
	2	290	×	
	3	300	×	
	4	310	×	
	5	320	×	
	6	330	×	
	7	340	×	
	8	350	○	
	9	340	○	
	10	330	○	
	11	320	×	
	12	320	×	
	最低着火温度 330℃			
13	1	260	×	初め薄い白煙を上げる（水蒸気か）。他の温度も同様
	2	260	×	
	3	280	○	
	4	270	×	

	5	270	×	
	6	270	×	
	7	280	×	
	8	290	○	
	9	290	○	
	10	280	○	
	11	270	×	
	12	270	×	
	最低着火温度 280℃			
50	1	240	○	初め薄い白煙を上げる（水蒸気か）。以下同様。
	2	230	×	
	3	230	×	
	最低着火温度 240℃			

表8-3　おがくず（●●●●）に油脂を浸潤した場合（50%wt：50%wt）の堆積状態の最低着火温度の測定結果　（厚さ13mm）

油脂の種類	実験順序	底面温度[℃]	判定：○着火，×不着火	備　考
パルミチン酸	1	280	×	白煙を上げる。以下同様
	2	340	×	
	3	360	○	
	4	350	×	
	5	350	○	
	6	340	×	
	7	340	×	
	最低着火温度 350℃			
オレイン酸	1	150	×	
	2	170	×	
	3	200	×	白煙を上げる。以下同様。
	4	230	×	
	5	260	×	
	6	350	○	
	7	340	×	
	8	340	○	
	最低着火温度 340℃			
サラダ油	1	350	×	白煙を上げる。以下同様。煙はパルミチン酸やオレイン酸よりも少

				ない。
	2	350	×	
	3	360	×	
	4	380	○	
	5	370	×	
	6	370	×	
	7	360	○	
	8	350	○	
	9	340	×	
	10	340	×	
	最低着火温度 350℃			

表8-4　おがくず（ホームセンター入手品）の堆積状態の最低着火温度の測定結果

厚さ［mm］	実験順序	底面温度[℃]	判定：○着火，×不着火	備　　考
13	1	250	×	初め薄い白煙を上げる（水蒸気か）。以下同様。
	2	260	○	
	3	250	×	
	4	260	○	
	最低着火温度 260℃			

表8-5　おがくず（ホームセンター入手品）に油脂を浸潤した場合（50%wt：50%wt）の堆積状態の最低着火温度の測定結果（厚さ13mm）

油脂の種類	測定順序	底面温度[℃]	判定：○着火，×不着火	備　　考
オレイン酸	1	340	○	白煙を上げる。以下同様。
	2	320	○	
	3	300	○	
	4	280	○	
	5	260	○	
	6	250	×	
	7	250	×	
	8	250	×	
	最低着火温度 260℃			

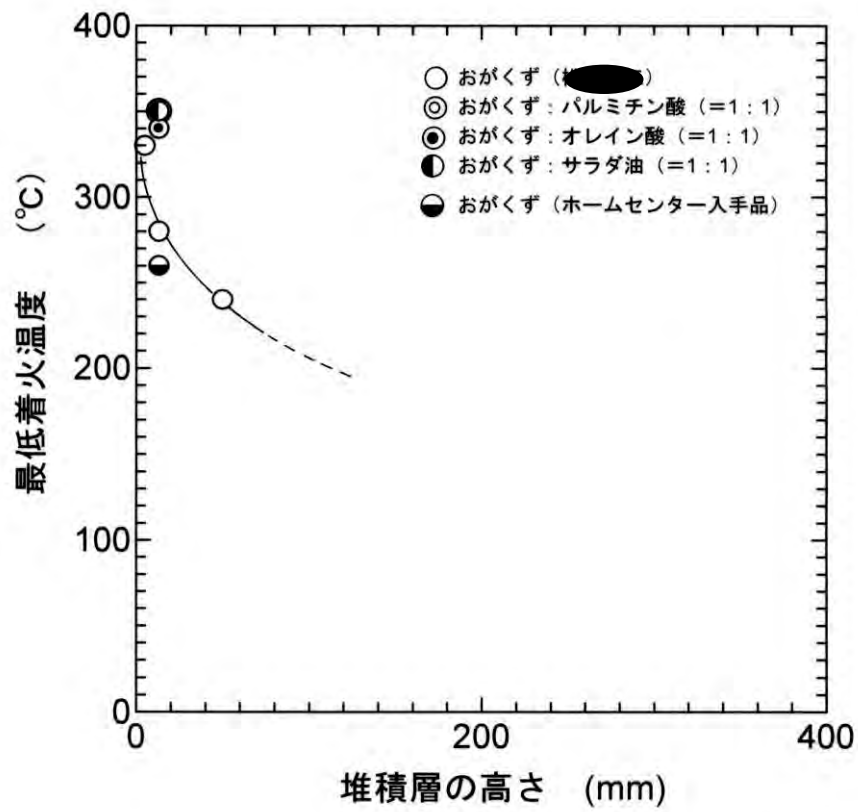



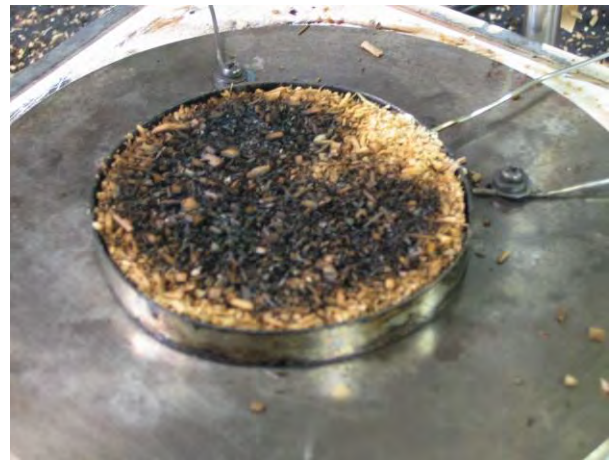
図 8-9　堆積層の高さと最低着火温度の関係

(a)堆積直後の様子　　　　(b)着火後の様子

写真 8-3　おがくず（●●●●），堆積層の厚さが 13mm の場合の実験の様子　（斜め上方から撮影，設定熱面温度 290℃）

写真 8-4　パルミチン酸をおがくずに浸潤させた場合の内部の炭化の様子　（斜め上方から撮影，設定熱面温度 280℃）

(3)火炎が形成できる最小隙間の測定

密になった堆積層内での燃え拡がりでは，火炎が形成するには狭く，くん焼（無炎燃焼）の形態で燃え拡がりが進行する。しかし，堆積層内である程度隙間ができれば，有炎燃焼の形態となり，火炎を形成する可能性がある。熱風の通り路となっていたり，乾燥で収縮し，堆積物が崩れたりすることで隙間が広がり，火炎を形成できるようになる[6)]。

油脂の燃焼について，火炎が形成できる最小隙間を測定した。油脂は蒸発して平板間で燃えるため，最小隙間は，ちょうど平板間を伝ぱする予混合火炎の消炎距離に相当するものである。実験では，セラミックスファイバに油脂を浸潤させた後，ガスマッチで着火させ，セラミックスファイバ上に形成する火炎に対して２枚の板で両側からはさむことで火炎が形成できる最小隙間を測定した（写真8-5)。

・板：真ちゅう製（厚さ4 mm，高さ43 mm）

・実験結果：(a)パルミチン酸について，6.9 mm

　　　　　　(b)オレイン酸について，6.6 mm

　　　　　　(c)サラダ油について，9.2 mm

油脂が蒸発し，セラミックスファイバ上では拡散火炎の形態で火炎が存在するが，平板の間隔が狭くなるに従い，火炎が浮き上がり，周囲酸素と蒸発したガスが予混合化し，予混合火炎の形態となって火炎が形成する（写真8-6)。10 mm程度の間隔があれば，火炎が形成でき，その隙間に予混合気が存在することで火炎が伝ぱできる。この値はメタン，プロパンなどの低級の炭化水素の燃焼における消炎距離2～3 mm（ただし，化学量論組成にて）よりも大きい。

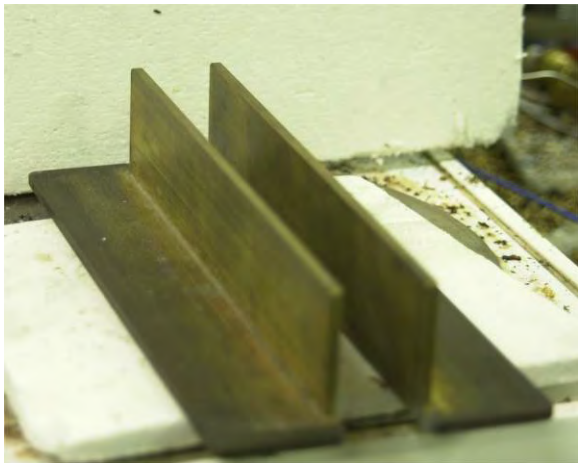



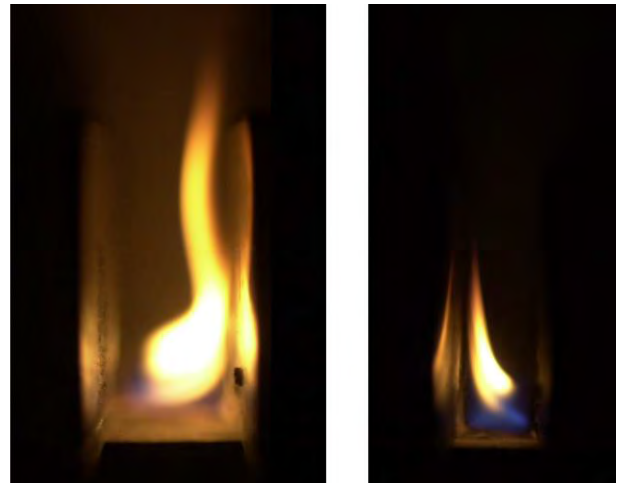
写真 8-5　最小隙間を調べる実験
（L 形真ちゅう高さ 43mm×底辺 40mm×長さ 220mm。油脂は中央付近に浸潤させ，中央付近で測定する。

間隔が広い場合　　　　間隔が狭い場合

写真 8-6　実験中の火炎の様子（オレイン酸）

8.5 模擬着火実験

(1)家庭用生ごみ処理機で作製したコンポスト化試料の着火性の確認

家庭用生ごみ処理機を使い，模擬コンポストを作製し，加熱面上で着火するかどうかを調べた（写真8-7）。

- 装置：家庭用生ごみ処理機●●●●（●●●●製）
- 設置場所：建屋外
- 投入物：くだものの皮，野菜，魚，豚肉，そう菜等
- 投入量と頻度：約100～300 g，1回/日
- 副資材：バイオチップ（おがくずで業務用と同等の形状，大きさもの），水
- 作製までの期間：32日間
- その他：生成量が少ないため，15日目に生ごみを少し多めに（1 kg）投入した。

(a)堆積直後の様子

(b)着火後の様子

写真 8-7　家庭用生ごみ処理機で作ったコンポスト化試料につい着火性を調べた実験の様子（堆積層の厚さ 13mm）（斜め上方から撮影，設定した熱面温度 270℃）

・実験結果：１ヶ月程度ではあまり生成しなかった。限られた量で実験を行うことができるように，堆積層の厚さを13 mm，底面温度を250℃とし，1回行い，着火することを確認した。

　この温度は上記8.4(2)節の最低着火温度よりも低く，よく乾燥したコンポスト化した試料はおがくず単独の場合よりも着火しやすいことが推察された。

(2)ホットプレートを使った着火実験

おがくず（●●●●）にオレイン酸を浸潤したものをホットプレート上に載せ，加熱しながらガスマッチの炎を周期的に堆積層上に近づけ，着火の有無を調べて見た。

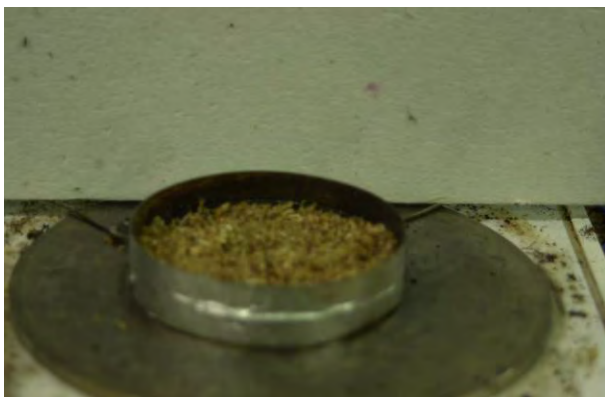
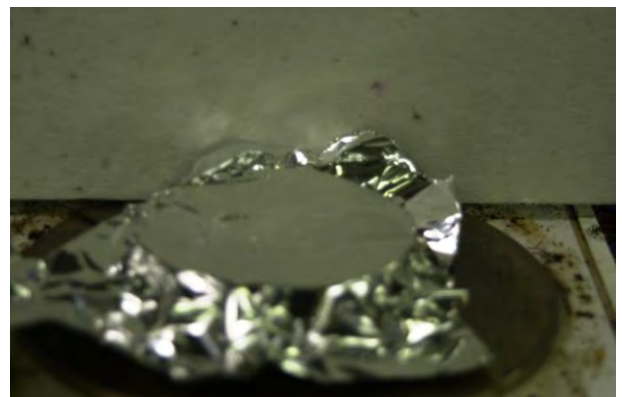
①実験１

　ホットプレート底面温度を130℃とした状態でおがくずを10 mm高さで堆積させ，アルミ箔で覆い，7分後*にアルミ箔を取り，ガスマッチを堆積層上10 mmに近づけてみた。実験の結果，着火しなかった。

＊）最低着火温度の実験より，層内の温度が安定する時間として設定した。

②実験２

　初めのホットプレートの底面温度を150℃とし，340℃まで20～26℃/分の加熱速度で熱しながら20℃おきにガスマッチを近づけてみた。

　実験の結果，150℃からすでに白煙がわずかに生じるが，300℃を超えたときに着火した。

(a)実験の様子
ホットプレート上に置いた直径 100mm，幅（高さ）25mm のリング内におがくずを 10mm 堆積させる。

(b)アルミ箔で覆ったところ

(c)着火した様子

写真 8-8　実験の様子

(3)小スケールの円筒かくはん槽を使った実験

かくはん槽に油脂を浸潤させたおがくず（模擬生ごみ）を入れ，加熱送風下（140から150℃）における堆積層内の温度変化と着火の再現を調べる予定であった。しかし，8.4節に記述したように，実験変数・発酵の条件，さらに，加熱と吹き出し速度などの条件を実規模に対して相似とすることが難しく，本実験は途中で中止した。以下，製作した装置の概略を示す。

・装置寸法：内径240 mm×深さ240 mm
・材質：ステンレス
・断熱材：セラミックスファイバウール50 mm厚さ，アルミ箔
・かくはん：かくはん翼直径180 mm
・その他：加熱送風装置，排気装置，かくはん時間制御タイマ付き

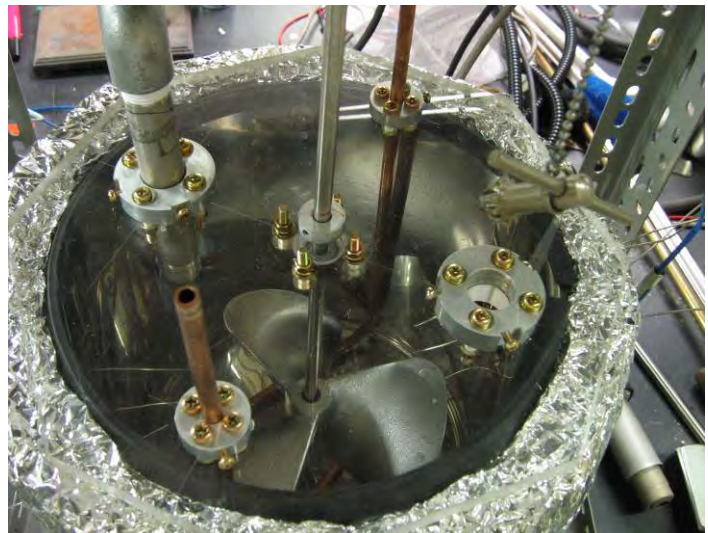
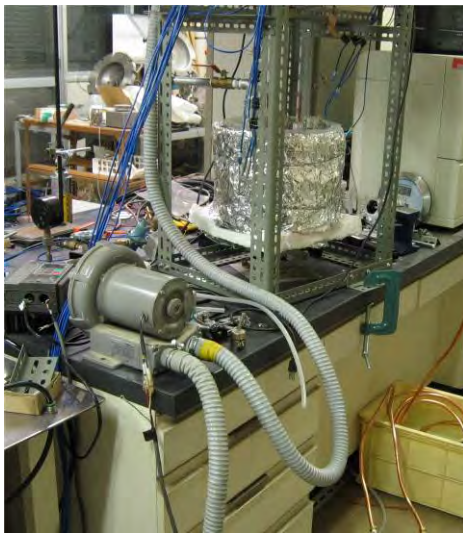



写真 8-9　実験装置の概略

8.6 使われていたものと同種のプラスチック材料の軟化性及び燃焼性

(1)変色温度，軟化温度

生ごみ処理装置に使われていたものと同等品である塩化ビニル管とPET樹脂板について，軟化温度を調べた（写真8-10）。

・試料：塩ビ管（VU200，●●●●）
　　PET樹脂板（ポリエチレンテレフタレート，透明，厚さ6 mm，●●●●）
・加熱方法：温度可変熱風ヒータにて
・測定結果：
　　(a)塩ビ管については，120℃以上で軟化の兆しが見られた。210℃で焦げはなかった。220℃で色が褪せた。230℃で焦げ始めた（写真8-11）。
　　(b)PET樹脂板については，90℃以上で軟化した。190℃気泡が生じた。220℃では軟化，熱風で板が変形した（写真8-12）。

以上のことから，実験結果と被災物の状況（写真6-18，6-43～6-45）との比較より，爆

発前の発酵槽内の気相の温度は120℃をはるかに超え，220℃以下にあったことが推定された。

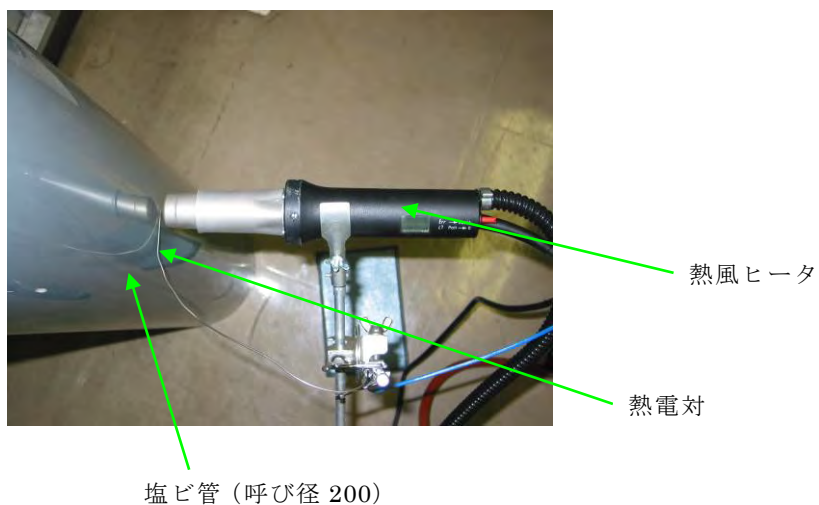
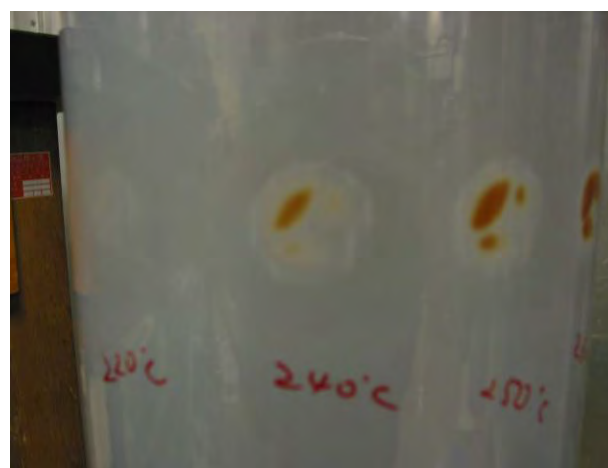



写真 8-10　加熱実験の様子

(a)220℃

(b)240℃

(c)260℃

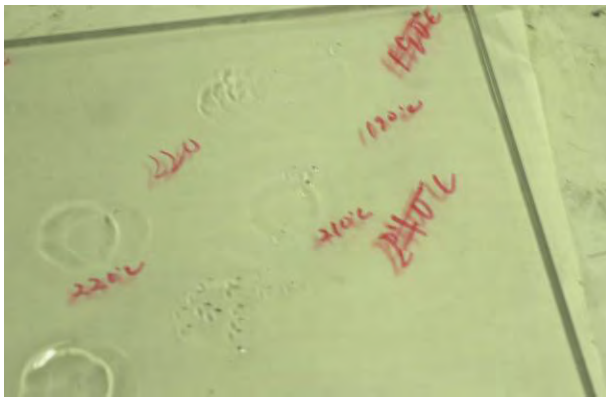
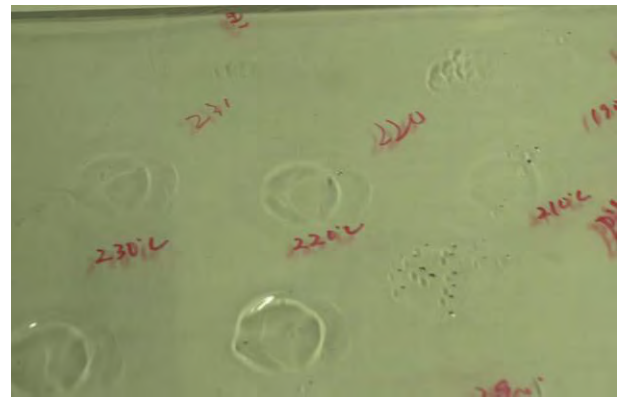
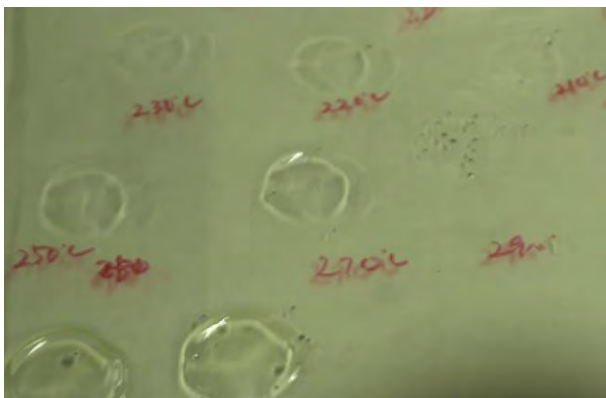
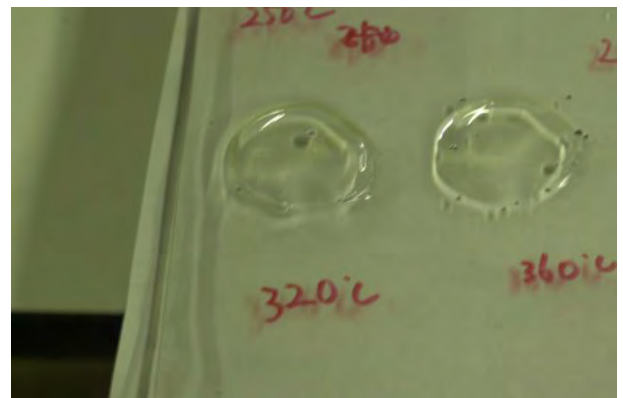
写真 8-11 加熱後の塩ビ管表面の様子

(a)190～220℃

(b)210～230℃

(c)250～270℃

(d)320～360℃

写真 8-12　加熱後の PET 樹脂表面の様子

(2)高密度 PE 板の燃焼性

被害状況調査で，発酵槽内壁，点検口の下に取り付けられていた乳白色の高密度 PE 板が焦げていたことから，燃焼性を調べてみた。試料はセラミックスファイバ上で燃焼させた。

- 試料：高密度 PE 板（ポリエチレン，乳白色，厚さ 5 mm×幅 10 mm，ただし，入手先は●●●●）
- 着火方法：ガスマッチにて
- 実験結果：輝炎を上げて持続的に燃焼することがわかった。燃焼中は溶融し，透明となるが，消火後，冷却するに従い固化し，乳白色に戻る。若干茶色に変色し，焦げ跡が残った（写真 8-13）。ただし，固体が溶融したところにすすが付着することで，焦げ跡のような様相になるようである。

実験結果と被災物の状況（写真 6-37）との比較より，堆積層内で高密度 PE 板は火炎を形成するには隙間がなく，あまり燃焼できず，堆積物からの熱で溶融，焦げたことが推定された。

(a)燃焼の様子

(b)消火後の様子

写真 8-13　高密度 PE 板の燃焼の様子

8.7 ステンレス板の変色温度の測定

生ごみ処理装置の被害状況では，側壁（ステンレス製）の一部で，内面と外面の対応する部位に焦げ跡が見られた。内面の変色はすすの付着の可能性が高いが，外面の変色は熱による可能性が高い。この部位の当時の温度を推定するため，いくつかの鉄板について，ブンゼンバーナーの加熱による変色温度（黒さびによる変色）とその際の変色の広がり状況を調べた(写真8-14)。

- ・試料：低炭素鉄鋼SS400，ステンレス鋼SUS304，ステンレス鋼SUS316
- ・板の寸法：150 mm×150 mm，厚さ2 mm
- ・バーナー炎の温度：約1000℃（一定）
- ・加熱時間：5～10分間
- ・実験結果：
  - (a)SS400については，280℃で変色，390℃では茶色が明瞭となり，600℃まで昇温させるとガンメタル色になった。変色部が板全体に広がる。
  - (b)SUS304については，300℃でわずかに変色（銀色→茶色）を始め，390℃付近でその変色が明瞭となることがわかった。
  - (b)SUS316については，390～400℃付近で，SS400は280℃付近で変色が明瞭となり，そのまま600℃まで昇温させると,色は茶から紫に変化することがわかった(写真8-15)。変色部は円形で板全体に広がらない。

実験結果と生ごみ処理装置の側壁の写真の変色状況(写真6-39)とを比較すると,SUS316の加熱による変色と類似していることがわかる(写真8-16)。鋼の変色はいわゆる黒さびによるもので，酸化Crの皮膜が生じ，ガンメタル色になる。生ごみ処理装置壁の外表面の変色は，130℃程度では生じず，より高い温度，火炎程度であぶられなければ生じないことが推定された。

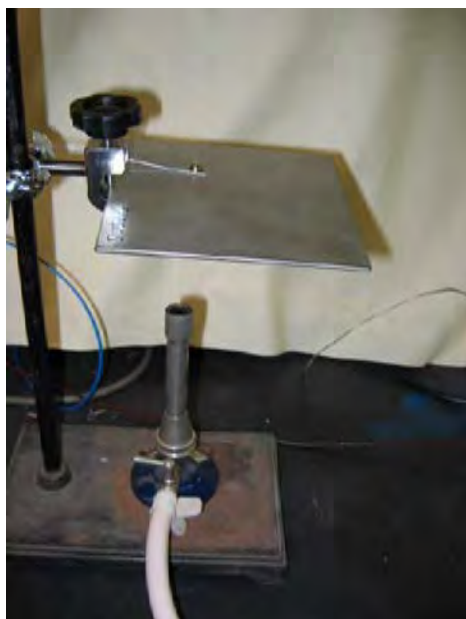



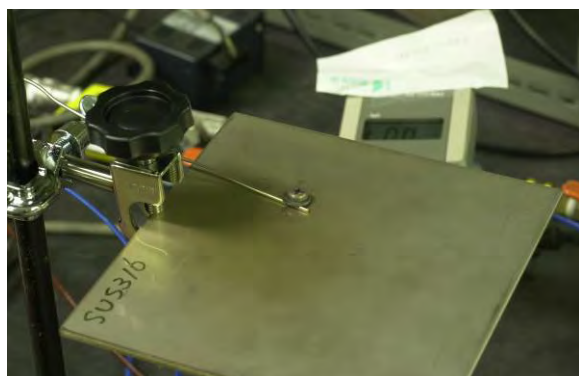
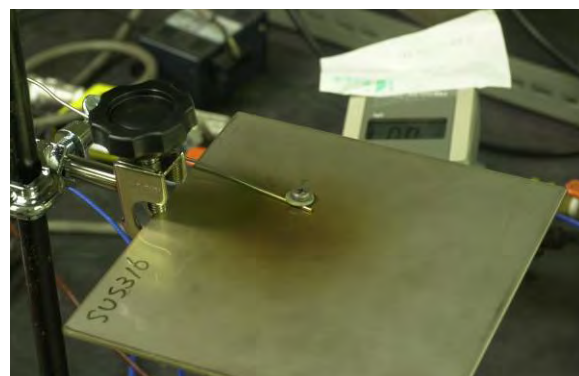
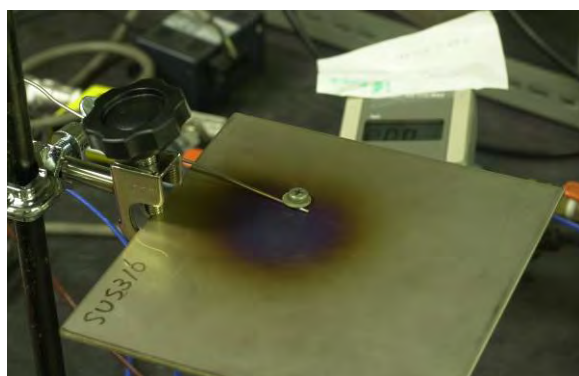
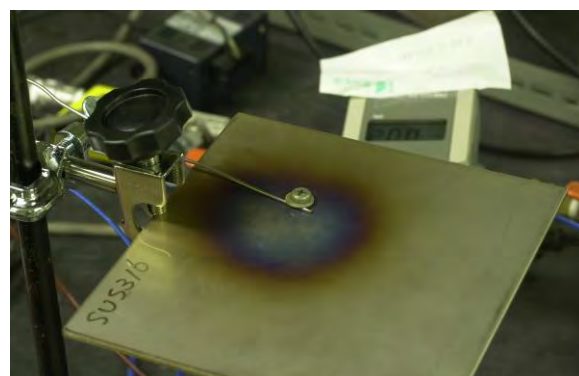
写真 8-14　鉄板加熱実験の様子

(a)410℃

(b)437℃

(c)505℃

(d)558℃

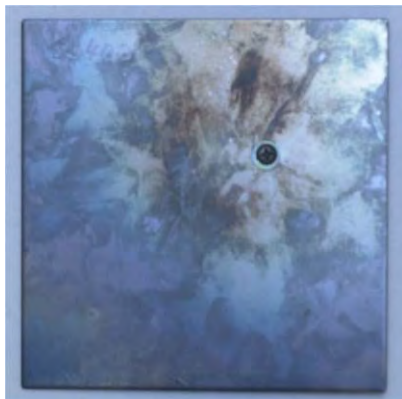
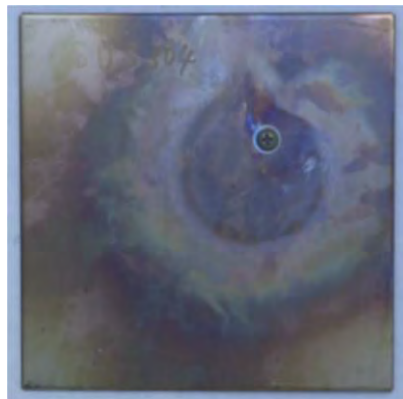
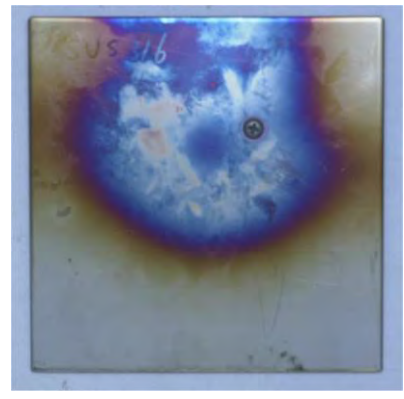
写真 8-15　　ステンレス SUS316 の加熱温度と変色の様子（加熱は連続）

SS400　　SUS304　　SUS316

写真 8-16　加熱後の変色の様子

8.8 家庭用生ごみイーターにおける可燃性ガスの発生

市販されている家庭用生ごみ処理機を使い，コンポスト化している生ごみが入った状態で処理機を停止し，可燃性ガスの発生状況をみるため，一定時間経過後の発生ガスの分析を行った。コンポスト化の条件等は 8.5(1)参照。

・分析装置：ガスクロマトグラフ GC-14B（島津製作所）
・カラム：SHINCARBON　ST　50/80mesh　2 m×3 mmφステンレス
・検出対象ガス：H_2, O_2, CO, CO_2，CH_4, C_2H_4, C_2H_6
・カラム温度：40～200℃，昇温速度：20℃/min，キャリアガス：He
・検出器：TCD，検出器・注入温度・TCD 温度：210℃
・試料注入量：0.5mL

測定結果,処理機停止 5 時間経過後も層内の温度は外気温度 10℃よりも高い状態（38℃）にあった。CO_2の発生は認められたが，H_2，CH_4などの可燃性ガスの発生は，測定範囲内では認められなかった。これらのガスは発生しても処理機外に拡散したか，あるいは微量であったものと考えられる。このことから，実験に用いた家庭用の生ごみ処理機の場合は，仮に停電等によって機械が停止しても懸念されるほどの可燃性ガスの発生はないものと推察される。業務用の生ごみ処理装置で可燃性ガスが大量に発生する場合としては，通常のごみの発酵に伴って達する温度よりも高い状態におかれる必要があるとことが推察された。

第 8 章の参考文献

1)牛草寿昭，丸山武紀，新谷　勛，松本太郎，熱重量分析による油脂の品質評価（第 3 報）－各種食用油脂の熱分解挙動－，油化学第 36 巻 11 号，(1987)，29-32

2) 牛草寿昭，丸山武紀，新谷　勛，直鎖飽和脂肪酸の熱重量減少挙動，油化学第 41 巻 1 号，(1992)，18-22

3)福田靖子，柴田靖史，熊崎稔子，ＴＧを使った食用油（種子系・ナッツ系）の酸化安定性及びナッツ系油の官能検査，名古屋女子大紀要　49（家・自，(2003)，117-123

4)黒崎富裕，八木和久，油脂化学入門，産業図書，(1995)

5)藤谷　健，あぶら（油脂）の話，裳華房（1996)，82-95

6)ごみ固形化燃料（RDF）の爆発・火災の危険性と安全な取り扱いについて，産業安全研究所ガイド，NIIS-SG-NO.3（2004)，(独)産業安全研究所

9. 考察

9.1 ガスの発生機構

ガスの発生機構として次のものが挙げられる[1-4)]。

①ガスの脱着による

有機物にそれまで吸着されていた O_2，N_2，CO，CO_2などのガスが，熱分解に至らない低温（室温）であっても，圧力変化，温度変化，濃度変化などにより脱着（放出）する。

②微生物発酵による

好気性発酵では，有機物は CO_2と H_2O に分解し，食品中のたんぱく質や脂肪は CO_2，H_2O，NH_3などに分解する。嫌気性発酵では，低級の脂肪酸に分解，さらに酢酸と水素に分解される。次の段階のメタン菌による嫌気性発酵によれば，さらに CH_4と CO_2が生成される[1-2)]。

③熱分解による

有機物からなる生ごみとおがくずを加熱すると，熱分解反応が生じ，気体状物質，液体状物質，固体状物質に分かれる[2)]。気体状物質としては CO，CO_2，H_2,CH_4，C_2H_4など，液体状物質としてはアルコール，タール，油など，固体状物質としてはチャーなどになる。加熱温度が高くなるに従い，液体状物質，固体状物質からの気化が進む。

生ごみ処理装置の熱風吹き出し口付近の堆積物（固体状と液体状の物）の温度が上昇すると，気化し，H_2，CO，炭化水素が発生し，その付近の堆積物は炭化が進ようになる。

④酸素不足環境での燃焼や燃焼反応の停止など燃焼特性による

熱風吹き出しにより酸素が供給されるため，燃焼反応は持続できるが，堆積層は密に詰まっており，火炎は形成できず有炎ではなく，無炎となり，くん焼の形態で堆積層内を上方に燃え拡がる。この間，未燃焼の可燃性ガスも堆積層上方から排出する。おがくずや食品の主な組織であるセルロースが不完全燃焼すると，C（すす）や CO を生じる。

吸着は表面積が大きい多孔性の場合に見られるが，用いられていたおがくずは微細のものではなく，また生ごみも砕かずにそのままの大きさであったため，ガスの発生量は，ほかのガスの発生機構によるものと比較して無視できるほど少なかったと考えられる。

生ごみの微生物発酵では，嫌気性発酵により可燃性ガスの発生の可能性がある。本件災害では高温の空気あるいは室温の空気を堆積層内に吹き込んでいたが，かくはんが行われていなかったこともあり，好気性発酵と嫌気性発酵の両方が進行していたと推定される。ここでは，爆発前の生ごみの発酵による可燃性ガスの発生量を定量的に見積もることは困難である。微生物発酵により 80℃程度になると微生物の活動が低下するが，この温度程度では，生ごみ処理装置の点検窓と塩ビ配管は軟化せず，排気は正常に行われ，爆発範囲の可燃性ガスが滞留する可能性は低い。すなわち，微生物発酵によって発生した可燃性ガスが爆発に強く関与したとは考えにくい。

有機物を含む他のごみ処理過程から類推しても，熱分解，不完全燃焼により可燃性のガスが発生する量は前述①と②のガスの発生機構に比べてかなり多いはずであり，本件災害でも③と④の機構により発生した可燃性ガスが爆発に関与した可能性が高い。

9.2 自然発火について

堆積したおがくずやセルロースなどの可燃物が自然発火する場合の例には，代表的には以下の二つが挙げられる。

①高温熱面に接触あるいは熱面上に堆積していてくすぶり，発火する場合

②酸化反応，分解反応等に伴う発熱により温度が上昇し，蓄熱，発火する場合

①は，モータなど動力機械や加熱装置の周囲に可燃物が堆積した状態で発火する場合である。②は，ストックヤード，サイロなどに貯蔵した状態において，堆積層の内部で発熱し，その後蓄熱から発火に至る場合である。堆積した状態の自然発火とは，一般的には②が該当する。ただし，本件災害では，熱風吹き出しがあったため，発火は①と②の両方が関与している。

油脂類の中で不飽和結合を持つ脂肪酸を含むものは酸化しやすく（自動酸化），特に紙，布，フィルタに浸潤した状態での自然発火の危険性が高い。対象となる低級，高級の不飽和脂肪酸は常温では液体ものが多い。木材は表面が多孔性であり，酸素の吸着が進行し，酸化が進行し，発熱する。これは表面積が大きい細かいおがくずや経年劣化した木材で顕著となる。これは，有機物の低温発火として報告されているものである。生石灰（酸化カルシウム）は水分の存在で，水酸化カルシウムを生成する。これは発熱を伴う。消石灰についても二酸化炭素と反応し，発熱する。

9.3 発酵槽内の温度変化と着火

①堆積層内の温度分布

密になった堆積層内で熱風を吹き出すと，層内に熱風が通りやすい路が形成されやすく，これが生ごみの種類，状態，おがくずの大きさ，堆積層の充てんの度合いによって変化するため，局所的な温度分布を推定するためには詳細な実験や数値シミュレーションによらなければならない。ここでは，発酵槽内の温度分布について，堆積物が均質であり，層内の局所的な熱の伝わり方の”むら”を無視し，伝導でのみ熱が伝わるとすると，定性的に図 9-1 に示したようになるものと考えられる。ここでは，時間がT_1からT_5まで経過し，堆積層の底部で温度が上昇する様子を示した。熱風吹き出しノズル出口の高さとオーガ下端の高さは，それぞれ約 5 cm と約 10 cm である。ヒータ出口温度は 150℃に設定されているが,熱損失のため,一番長いノズルで 20～30℃低下する。オーガが停止し，熱風が吹き出した状態であっても，層内の中央から上部の温度は，生ごみの水分が蒸発する間は，それほど上がらないはずである。

堆積層の底部には，排出されずに残っている生成物に液状物質が浸潤している。主に油脂からなる液状物質の中には，その吹き出し温度で発熱を開始する物質を含んでいた。ノズルパイプ周りで発熱を開始することで，熱損失が小さくなるため，ヒータ出口温度 150℃からの温度低下は小さくなるはずである。発酵槽には断熱材が取り付けられていたが，これは周囲への熱損失を低減させる。従って，この生ごみ処理装置では，一度発熱を開始すると，蓄熱し，さらに発熱を促すことになる。

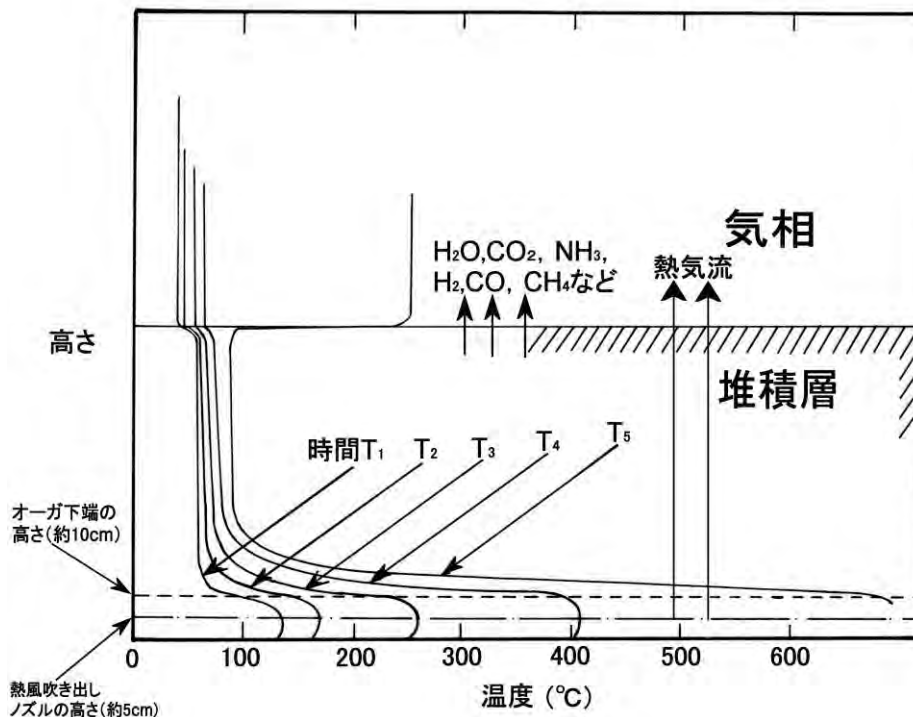



図 9-1 発酵槽内の温度分布の説明図

②堆積状態での着火温度

おがくず単独の最低着火温度について，図 8-9 に示した曲線を外そうすると，堆積層の高さが 100 mm では 200～220℃程度となることが推測できる *。ただし，堆積層に水分や油脂など液状物質を含む場合は，気化の影響があり，高さとともに温度が単調に減少するかどうかは不明である。堆積層の高さが 150 から 200 mm はノズルに近く，爆発前は乾燥状態にあったと考えられる。粗い見積もりではあるが，この程度堆積していれば，170～200℃で着火することになる。

*）フランク-カメツツキーの熱発火理論によると，最低着火温度は曲線のように変化することが知られている [3)]。

③発酵槽内の温度記録から推定されること

一般的なコンポスト化のプロセスでの最適温度は，発酵の効率を上げるため，60℃付近とされる [1) 168 ページ]。本装置の壁面の温度測定記録（表 6-1）によると，温度は 48.0～71.6℃にあり，装置が正常作動している場合は，層内温度が適切に制御されることがわかる [*1)]。 *1）この温度記録からすると，熱電対の取り付け位置に問題があったにせよ，堆積層内の平均的な温度を把握するには十分であったようである。

作業者 C 氏が午後●時ごろから投入作業を開始し，午後●時の帰宅までの時間は表 6-1 では● H から● H 前に相当する。3 箇所のうち中間だけが高いのは，この測定位置付近で炭化層と内壁の隙間，すなわち熱風の通り路ができ，各吹き出しノズルのうち一番短いノズルからの熱風が内壁に沿って流れたためと考えられる。中間位置の熱電対は点検口側から 3 台目と 4 台目のヒータの間，底部から 34cm に取り付けられていた（資料 1)。ノズルからの吹き出し温度は 132 から 134℃程度にあり，熱損失を加味

すれば，ヒータ出口の温度はやはり 150℃であったと推察される。

投入（掃除口）側と排出側の温度は層内の平均温度を示している。6 H 前から 5 H 前になると，投入側と排出側の温度がやや上昇する。3 H 前からの温度が下がるのはヒータ出口温度が温度ヒューズよりも高くなったため，ヒータの加熱が自動停止したためと推察される。温度測定記録において，燃焼状態にありながら，熱風温度よりも高い温度を記録していないことから，局所的に高温度になったところが，3 箇所の温度測定位置付近ではなかったことが推察できる *2)。 ＊2) 当該 3 箇所の測定位置では局所的な発熱，発火挙動を正しく把握できない。

実験結果から爆発前の気相の温度は 120℃をはるかに超え，220℃以下であったと推定されたが，図 9-1 の温度分布と併せて検討すると，堆積層内で着火後，燃え拡がりに伴い長時間かかって層内を伝導で気相に熱が伝わったとは考えにくいことがわかる。すなわち，堆積層表面から気相に熱が伝わるのではなく，堆積層内の局所的な熱風の通り路あるいは側壁との隙間に火炎が形成し,対流で熱が伝わったことが推定される。

オーガは金属製であるため，底部の熱は堆積層内よりも速く上方に伝わる。そのため，オーガの周りの堆積物は温度が高く炭化が進んだものと考えられる。また，隙間があり，熱風の通り路であった可能性もある。これは，写真 6-42 の炭化した領域がオーガのかくはん翼の形状に対応していることからわかる。オーガのかくはん翼の隙間が堆積層内よりも広いため，熱流が伝わりやすかく，くん焼がオーガ周りで速く進行したという文献 4) の参考資料による推定は否定できない。

第9章の参考文献

1)中山哲男編，夫廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック，㈱建設作業調査会（2000）
2)河村清史，有機性廃棄物資源化の現状と技術，埼玉県環境科学国際センター報，第 2 号(2002)，103-113，
3)ごみ固形化燃料（RDF）の爆発・火災の危険性と安全な取り扱いについて，産業安全研究所ガイド，NIIS-SG-NO.3（2004)，（独）産業安全研究所
4) 省略

10.　災害原因の推定

10.1 着火源の検討

発酵槽内底部は，排出側に近いところを除き，底部全体が炭化していたことから，5 台のヒータはいずれも作動していたと考えられる。本件災害は初めに火災報知機が鳴ったことと，消防隊員が炎を見ていることから，初めに火災が発生し，その後，爆発に至ったものと推定される。なお，爆発の形態はガス爆発であり，堆積層は浸潤していたこと，放水直後に爆発が発生していないこと，発酵槽の内部から爆発した様子が無かったこと，などから，水蒸気爆発は無かったと考えられる。

火災の着火源となりえるものとしては，漏電，短絡，モータ（動力機器)，自然発火に絞られるが，制御盤（配電盤）に燃焼の跡が見られないこと，オーガが停止していたこと，

腐食性ガスの発生はなく電線ケーブルの劣化は考えにくいこと，などから電気火花による発火ではなく，熱風で加熱され続けた堆積物の発熱による自然発火によるものと推定される。

爆発の着火源となりえるものとしては，上述の自然発火による火炎，電灯スイッチのON/OFF の際の火花，消火作業中の消防士の静電気に絞られるが，電灯スイッチは生ごみ処理装置から離れていることとカバーがしてあること，消防署員の消火服からは静電気放電の可能性がないことから，すでに自然発火で生じていた火炎によるものと推定される。

10.2 爆発原因の推定

(1)爆発原因の概要

爆発前日，日ごろはごみ収集作業を行っている当該作業については半日しか経験がない者が急きょ作業を行っていたところ,生ごみ投入装置が非常停止するトラブルが発生した。この者は通常作業者と連絡をとった結果，装置の操作経験が浅い者では対処する方法が難しく，通常作業者が翌日対処することになり，生ごみ投入装置が停止したまま，しかし，装置本体が運転状態のまま帰宅した。

生ごみ処理装置は運転状態にあり，熱風吹き込みブロアとヒータは作動していたが，かくはん装置が作動していなかったため，通常の乾燥と発酵処理が行われず，熱風吹き込みノズルの設けられた発酵槽底部付近の堆積物の乾燥が進み，局所的に発熱し，着火するに至った。発熱の端緒としては，生ごみの成分である油脂類の酸化反応が考えられる。好気性発酵と嫌気性発酵による可燃性ガスを含むガス，水蒸気の発生のほか，熱風吹き込みノズルから空気の供給を受け，発酵槽底部では炭化の進行とくん焼の継続により，熱分解ガスと燃焼ガスも発生していた。その後，発酵槽内の堆積層上方の気相側は 200℃程度の高温となり，プラスチック製の点検窓が軟化，大きく反り，発酵槽の上部は開放状態となった。堆積層と側壁の隙間，あるいはかくはん棒付近の堆積層上でノズルからの空気の供給で火炎が形成していたが，酸素不足状態で，爆発範囲を超えるガスが周囲に拡散していたが，一気に燃焼することはなかった。消火作業に伴い室内への空気の流入とかくはんにより，爆発範囲の混合気の形成を促した状態で，上述の火炎が種火となってガス爆発が発生したものと推定される。

(2)推定される爆発に至る過程（シナリオ）

次の順序あるいは並行して生ごみ処理装置内で事象が進行したものと推定される。

①前月，半日しか経験がない作業者が，生ごみ投入装置が非常停止した状態で，しかし，生ごみ処理装置はモード●（150℃加熱）の運転状態で帰宅した。この生ごみ処理装置は，生ごみ投入装置が非常停止した状態であっても熱風ヒータの吹き込みはそのまま作動し，ところが，かくはん装置は作動しないようになっていた。

②熱風の吹き込みによって堆積層内の水分が蒸発する間はあまり温度が上昇しなかったが，吹き込みノズル付近では乾燥が進み，その付近では熱風の吹き出し温度となり，その熱は堆積層上方に伝わる。

③生ごみの成分には油脂を含み，その中には熱風吹き出し温度で酸化反応を開始するものがあるが，おがくずに浸潤していることもあり，反応に寄与する表面積が大きくなり，酸化反応に伴う発熱が続く。

④発酵槽は断熱材で覆われ，かつ堆積層内の熱伝導が小さいため，蓄熱し，温度が上昇する。
⑤堆積層の底部を除き，水分の蒸発のほか，好気性発酵と嫌気性発酵によるガスの発生があり，底部付近では着火しなくとも炭化が進む。
⑥堆積層の底部で着火し（200℃あたりか），熱風吹き込みノズルからの空気の供給に支えられ無炎燃焼（くん焼）が進む。
⑦気相の温度が上昇し，PET 樹脂製の点検窓が軟化，大きく反り，塩ビ製の排気ダクトも軟化し，ひしゃげることで，微生物脱臭槽への排気量が減る。完全にひしゃげていないため，すすを含む燃焼ガスを吸い込んでいた。発酵槽内上部の温度上昇は低下するが，発生している水蒸気，ガス等が白煙となって室内に広がる。
⑧堆積層内で隙間が大きいところ，例えば，熱風の通り路，堆積層と側壁との間は乾燥が進み，無炎燃焼から有炎燃焼に変化するところが生じる。火炎が生じることで乾燥が急速に進み，その周囲の炭化，熱分解が促進し，可燃性ガスの発生が増加する。
⑨掃除口に近い側の内壁と堆積層の隙間で２本のノズルの吹き出しに沿って，火炎が形成する。この火炎は拡散火炎であり，すすが多く排出される。
⑩発酵槽内では可燃性ガスと火炎が存在しているが，熱風吹き出しノズルからの空気はくん焼のために消費され，堆積層上方ではむしろ酸素が少ない状態にあった（爆発範囲外にあった）。
⑪消防署員が入った時，発酵槽内で火炎が見え，生ごみ処理装置の左のほうに放水しようとしたが，水圧が低いため水圧を上げるために部屋を出る。
⑫この間，新鮮な空気の流入，かくはん，また，若干の注水によって堆積層が崩れ，あるいは冷却によって堆積層は縮み，一部火炎が消えたり，逆に隙間が増えたりして火炎が形成しやすくなる。
⑫再度放水に取りかかった時，火炎が形成していた付近で爆発範囲の混合気が形成され，ガス爆発が発生した（用語の定義にもよるが，フラッシュオーバーが発生した）。

温度記録からすると，作業者が 20 時に帰宅した時点ですでに発熱が開始していたが，爆発 10H 前（午後●時）には乾燥が進み，次第に熱流の通り路が広くなっていったと推測される。

着火源が堆積層内の炎であるとすると，爆発の地点（爆心）は発酵槽の掃除口付近，あるいはオーガ周辺であったと推定される。爆発の時点で既に PET 樹脂の点検窓は大きく反って開いており，すべて開口していたため，発酵槽内の圧力が高くなることはなかった。

10.3 爆発に至った理由

最大の理由は，ごみの発酵という生き物を扱っていた装置のトラブルに対して，適切に対処しなかったことである。

①前月，半日しか経験がない者が作業にあたっていたこと。
- 装置の操作を熟知しておらず，トラブルに適切に対処できなかったこと。
- 通常作業者 2 名に連絡は取ったが，メーカーに至急連絡を取らなかったこと。
- 装置が自動化されていたため，関係者が作業を甘く見た可能性があること（初心者でも作業ができる）。

②装置の構造に問題があったこと。

・自動投入装置の停止とともにオーガも停止していたこと。

・発酵槽底部とオーガ先端に約 10cm の隙間があり，生成物がかき出されない構造であったこと。

・ヒータの温度が高かったこと。

・オーガが停止しても送風もヒータも停止しない構造であったこと。

・装置の基本は自動運転であるが，生ごみの投入と排出が手動であること。

・装置が全自動ではなく，定常運転の間にパネル操作という手動によらなければならない操作があり，自動と手動の間の入力ミス，切り替えミスなどが生じる可能性があること。

③生ごみの発熱開始温度が熱風の吹き出し温度程度であったこと。

・生ごみ処理における発熱，発火危険性を十分に把握していなかったこと。

・100℃を超えて行う脱水作業は，まさに乾燥作業であるが，「乾燥設備」に準じた安全対策に十分に配慮しなかったこと。

本災害ではてんぷらや惣菜など衣に油を多く含むものの投入が一つの問題とされたが，肉や青魚などの生ごみの成分には油脂（特に不飽和脂肪酸）を多く含んでいるため，てんぷらや惣菜の投入無しでも発火，爆発する可能性はあった。

11．同種災害の再発防止対策

本件災害に限らず，業務用生ごみ処理装置のメーカー，ユーザー等に対する爆発・火災の防止対策としては以下の事柄を参考とすること。

(1)メーカーに対して

①構造について

(a)装置全体の材質は，金属製あるいは不燃性のものとする。

(b)点検窓（のぞき窓）の材質は，一般的に耐熱性のガラスとする。ただし，点検窓は，使用温度範囲で機械的な強度の低下，材質の劣化を生じなければプラスチック製でもよい。

(c)装置内部は，内容物が長期間残らないように全量排出できる構造とする。

(d)装置内部は，掃除しやすい構造とする。

(e)装置は，発生するガスが滞留しない構造とし，かつ安全な場所に排出できる構造とする。

(f)微生物の働きによっては，発生するガスが可燃性の場合もあるため，雰囲気が爆発範囲（可燃範囲）にならないようにする。対策の例として，通風換気等。

(g)生ごみ投入口，掃除口，点検窓は，緊急時の内容物のかき出し作業用，消火作業用としても利用できるように，それらの開口面積はできるだけ大きくとる。

(h)内容物の堆積層の高さを増すと，内容物が時間とともに蓄熱し，自然発火を起こす温度（最低着火温度）が低下することに留意する。

(i)発酵槽及び乾燥槽の外面が保温材で覆われていると，内容物が蓄熱しやすくなることに留意する。

(j)内容物を堆積できる高さは，生ごみと副資材（おがくず，消石灰等）の種類，処理量，処理温度，処理時間等を勘案して実証実験で確認すべきである。このとき，実規模の実証実験が困難であり，小規模実験で実証実験を行う場合は安全率を勘案して堆積できる高さを定めるべきである。

(k)電気火花を発生しない構造とする。

②安全装置等について

(a)正常な運転条件が整わない場合は，装置が作動しない機構とする（インターロック機構)。

(b)かくはん装置が停止した場合は加熱装置も自動で停止する機構とする（フェールセーフ機構)。

(c)発酵槽及び乾燥槽の内部の異常な状態を早期に把握するため，温度計を設ける。

(d)発酵槽及び乾燥槽の内部で最も高温になると考えられる箇所の温度を把握することが必要である。温度測定位置と異なった箇所で局所的に温度が高くなることが予想される場合は,何らかの方法でその最高温度を別途把握しておく(常時計測温度,モニタリング温度よりもどの程度高いのか把握しておく)。

(e)層内の温度上昇が設定した値に達した場合には，加熱を停止する。しかし送風，内容物のかくはんや切り返しなどを続け，正常な発酵を促すとともに，温度を制御しながら冷却にも努める。生ごみの種類，処理量，水分量，処理の程度などに依存するが，装置の動作がすべて停止すると，酸素不足・非強制冷却状態におかれ，嫌気性発酵の進行による可燃性ガスの発生のほか，蓄熱し，自然発火に至る可能性があることに留意する。

(f)測定温度を自動記録できる機能を設ける。

(g)停電に備える。

・発酵槽及び乾燥槽の内部の状態を監視する温度計測などの計装ラインのためのバックアップ電源を設ける。

・上記①(f)によれば，可燃性ガスの発生により雰囲気が爆発範囲とならない措置，自然発火の防止の措置が必要である。

(h)漏電防止機能を設ける。

(i)過昇温防止機能を設ける。

(j)自動警報装置を設ける。

(k)施設の休業日などで無人となる施設では，自動通報装置を設け，各種警報が警備会社や管理会社などに連絡が入るようにする。

③その他

(a)生ごみ処理過程における発熱，発火危険特性を把握する。

(b)装置を室内に設置する場合は，室内に換気設備を設け，常時換気する。

(c)現行の生ごみ処理装置は加熱による乾燥作業を含んでいるため,「乾燥設備」に準ずる構造，機能，安全装置を設ける。例えば，文献 1)，2)を参照。

(2)生ごみ処理装置ユーザー，生ごみ処理作業者に対して

①生ごみと副資材

(a)コンポスト化に用いる生ごみとその副資材であるおがくずは可燃性の物であり，処

理方法，運転条件によっては自然発火するものである。

(b)生ごみ処理過程における発熱，発火危険特性を把握する。

(c)生ごみは油脂を含むものである。

(d)生ごみは，微生物の発酵により，可燃性のガスを発生する可能性がある。

(e)消石灰は二酸化炭素と反応し，発熱する。

(f)生ごみが脱水し，高温になると，ガス化し，可燃性のガスを発生する可能性がある。

(g)内容物の堆積層の高さを増すと，条件によっては内容物が時間とともに蓄熱し，自然発火を起こす温度（最低着火温度）が低下することに留意する。

(h)みだりに着火物（点火源）となるおそれのあるものを接近させないようにする。

②生ごみ処理装置の取り扱い

(a)メーカーが作成した取扱説明書に従う。

(b)メーカーが作成した取扱説明を参考に，作業手順を定める。

(c)現行の生ごみ処理装置は加熱による乾燥作業を含んでいるため，「乾燥設備」に準じて取り扱う。例えば，文献１）を参照。

③安全教育，適切な生産管理

(a)生ごみ処理作業は，装置の構造，取り扱いについて知識を有するものが作業を行う。

(b)作業のバックアップ体制を充実させる。

(c)生ごみ処理に関する作業標準を定め，守る。

④その他

(a)施設の休業日などで無人となる施設では，各種警報が警備会社や管理会社などに連絡が入るようにする。

(b)火災の発生等により消火のため水を使った場合には，発酵が継続していることに留意する。

(c)消火後も内容物が高温に置かれると，熱分解が進行，可燃性ガスが発生し，時間が経過，再燃によりガス爆発が生じる可能性があることに留意する。

第 11章の参考文献

1)労働省安全衛生部安全課編，新版 乾燥作業の安全－乾燥設備作業主任者テキスト－，中央労働災害防止協会（1999）

2)爆発圧力放散設備技術指針（改訂版），NIIS-TR-No.38（2005），（独）産業安全研究所

12. まとめ

個別物品の特性に応じて，各リサイクル法が平成 12 年から現在まで施行されている。食品リサイクル法（食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律）は，平成 13 年 5 月に施行された。業務用生ごみ処理機については，平成 16 年，食品リサイクル機器連絡会議が各社統一基準を設けるため，性能基準を定めている。

平成 15 年は産業界で爆発・火災災害が頻発し，予想もしなかった装置が爆発したことで報道機関に大きく取り上げられた。生ごみ処理装置の爆発は意外であったが，その年の８月，すでに小型の業務用生ごみ処理装置の火災が発生し，問題化されようとしていた。

本災害の生ごみ処理装置のメーカーが作成した取扱説明書には，火気厳禁，可燃性液体・可燃性ガスの装置への近接や投入の禁止，さらに発熱，発火の原因とならないように排気口をふさぐことを禁止する旨の記載があった。本災害調査の結果，生ごみ処理装置の動作を再現すべく小スケールの円筒かくはん槽の実験を試みたが，条件設定が難しいことがわかった。このことから，生ごみ処理装置を製作するためには，相当高度な知識，経験と実験に基づき運転条件を詳細に設定されていることが推察された。メーカーが生ごみの堆肥化のための装置を設計しようとする場合には，微生物発酵，生物工学，廃棄物処理関係の文献収集を行い，実験を繰り返し，特にコンポスト化の高効率をめざす上では，発酵の程度を把握するためガス分析が行われ，微生物発酵の働きによっては嫌気性発酵が進行し，メタンや水素が発生することを当然知っていたはずである。

環境省は，（財）廃棄物研究財団に「業務用生ごみ処理機の安全対策指針」の検討業務を委託し，環境省による業務用生ごみ処理機の実態調査の結果，大和市消防本部によるショッピングセンター内事故の原因調査結果等を踏まえて検討を行い,「加熱を伴う業務用生ごみ処理機における安全対策指針」を取りまとめた（平成 17 年 6 月）。環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課長により，同上指針を踏まえ，各都道府県廃棄物行政主管部（局）長宛に通達がなされ，平成 17 年 6 月 22 日には，消防庁防火安全室長より，都道府県消防主管部長，東京消防庁，指定都市消防庁宛に，防火安全対策の徹底に関する通達がなされた。

食品リサイクル法の基本方針では，再利用等の量に関する目標を平成 18 年度に発生する量の 20%以上と定めている。主務大臣は，年間の食品廃棄物等の発生量が 100 t 以上の食品関連事業者に対し，その再生利用等が基準と照らして著しく不十分と認められるときは，勧告，公表及び命令を行うことができる。本法律における罰則対象は 100 t 以上の食品関連事業者となるが，年間発生量が 100 t 未満であっても，すべての食品関連事業者に再生利用等を実施することを義務づけている。食品リサイクル法の制定は，食品関連事業者に対して生ごみ処理装置の導入を後押ししたと言える。今年度末に向かい，なおいっそうの生ごみ処理装置の使用が促進されるのではないかと推測される。

現行の業務用生ごみ処理装置は,微生物による発酵処理と脱水処理を同時に行うもので,熱源として電力等を使用した加熱による乾燥作業であり，かつ微生物の働きによっては可燃性のガスが発生することが明らかになったことから,「乾燥設備」としての規制を行うことが望ましい。本災害調査の結果，発酵槽内へ吹き込む熱風加熱のため，加熱温度 150℃を生み出す定格消費電力● kw/h のヒータが 5 台，合計● kW/h もの電力が使用されていた。研究所では「乾燥設備」の安全装置として適用できる「爆発圧力放散設備」に関する技術指針 NIIS-TR-NO.34 を 1998 年に発行し, 2005 年改訂版 NIIS-TR-NO.38 を発行し，可燃性ガス・蒸気に適用できる内容積を拡張し，1 m^3以上 1,000m^3以下から，0.1 m^3以上 1,000 m^3に変更している。

研究所における本災害調査は，厚生労働省労働基準局安全課の要請により，科学技術的な観点から原因究明のための現地調査，実験を行ない，同種災害の再発防止のための技術的な安全対策の確立に資することを目的として実施された。災害調査の結果，日ごろは別の作業を行い半日しか経験がない者が急きょ作業を行っていたところ，生ごみ投入装置が

停止するトラブルが発生したことがきっかけとなり，装置の構造の致命的な問題点も露呈し，自然発火で火災が発生している状況で消火作業中，ガス爆発に至ったものと推定された。生ごみ投入装置は停止したままであった。熱風吹き込みのブロアとヒータは作動していたが，かくはん装置が作動していなかったため，通常の乾燥と発酵処理が行われず，熱風吹き込みにより堆積物の乾燥が進み，局所的に発熱し，着火（自然発火）した。好気性発酵と嫌気性発酵によるガス（可燃性ガスを含む）の発生のほか，熱風吹き込みノズルから空気の供給を受け，発酵槽底部では炭化の進行とくん焼の継続により，熱分解ガスと燃焼ガスも発生していた。堆積層と側板の隙間，あるいはかくはん棒付近の堆積層上でノズルからの空気の供給で火炎が形成していた状況で，消火作業に伴い室内への空気の流入とかくはんにより，爆発範囲の混合気の形成を促した状態で，上述の火炎が種火となってガス爆発が発生したと推定された。

資料１　発酵槽組立図，エアレーション組立図，乾燥槽計画図

省略

資料２　パネルの異常メッセージ表示とその処置方法

省略

資料３　商品取扱説明書より

省略

資料4　文献(「火災」第 54 巻 6 号 2004 年 12 月，日本火災学会 57-60)

火災発生事例

外国製の生ごみ処理機から出火した火災

FIRE REPORT : Fire Caused by an Imported Garbage Disposer

東京消防庁予防部調査課
Tokyo Fire Department

はじめに

平成13年５月，農林水産省は「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（通称：食品リサイクル法）」を施行した。

この法律は，食品の製造，流通，販売，外食産業等の食品関連事業者のうち，生ごみや調理くず，食べ残しくずが年間100ｔ以上排出される者に対して規制される法律で，法律施行後５年をめどに年間排出量の20％を削減し再生利用しなければならないというものである。このため各事業者は，生ごみ処理機等を導入し，生ごみや食べ残しくずを減量するとともに，減量化したごみを家畜類の飼料や園芸用肥料に再利用する等，この法律を遵守し，さらに企業のイメージ向上に努めている。

今回は，事業所用として設置した生ごみ処理機内のごみから出火した事案に対し，当該機の作動実験及び再現実験を実施するとともに処理されたごみの鑑定結果から出火原因を究明した事例を紹介する。

1. 火災概要

出火日時　平成15年８月
出火場所　東京都品川区
焼損状況　建物ぼや
焼損物件　生ごみ処理機内のごみ焼損

2. 出火時の状況

耐火造３階建て複合用途建物の２，３階にある飲食店（開店準備中）にパート清掃員が出勤すると，店内に煙が充満していた。その直後に自動火災報知設備が作動し，ベルが鳴動したので，店外に出て近隣者に通報を依頼した。

消防隊が現場到着時，生ごみ処理機は作動中で，ごみ処理槽から激しく発煙していたため直ちに電源を切り，水道水により消火した。

関係者の供述から，一度処理されたごみを再処理した疑いがあり，また，作動開始してから６時間以上経過したとの供述を得た。

3. 生ごみ処理機の概要

出火した生ごみ処理機は，飲食店経営会社がグループ専用に発注したもので，韓国のメーカーが製造後，日本の輸入代理店を通して現在まで24台が輸入されている。

平成15年４月から東京都内23台，千葉県内１台を試験的に運転しており，同年10月からは正式に運転を開始し，今後約400台を輸入してグループ内全店舗に設置する予定であった。

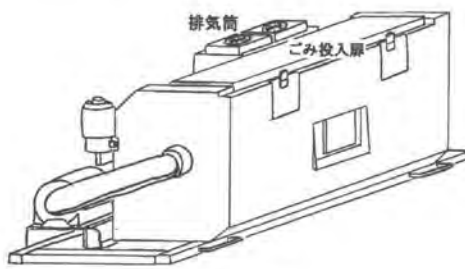
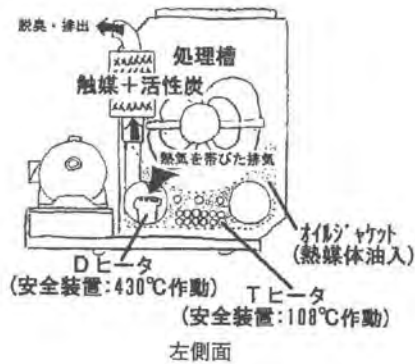
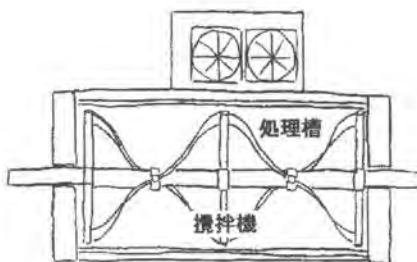
生ごみ処理機は，ヒータ等の熱源や風を利用して生ごみの水分を物理的に乾燥し減量させる「乾燥式」と，微生物の働きで生ごみを水と炭酸ガスに分解し減量させる「バイオ式」の二種類がある。今回出火した生ごみ処理機は乾燥式（設定電力：6.16kW，三相AC 200V）で，約25kgの生ごみを７時間半かけて８kg程度の肥料原料にする処理能力がある。（最大収容能力：75kg）

処理槽の外側を覆う熱媒体油（以下「オイル」という）の入ったオイルジャケットを熱媒体ヒータ「Thermal Heater」（以下「Ｔヒータ」という）により加熱し処理槽内の生ごみを攪拌しながら乾燥する。

この際発生した熱気と水分は，処理槽底部付近にある脱臭ヒータ「Deodorant Heater」（以下「Ｄヒータ」という。）で高温に熱せられ，活性炭を通して屋外へ排出される構造である。（図１，２参照）

4. 現場見分状況

⑴ 飲食店内厨房に設置されている生ごみ処理機の外観及びその周囲には焼損は認められないが，ごみ投入扉を開けて見ると処理槽に面する部分には煤が一面に付着している。（写真１参照）

⑵ 処理槽内には攪拌機があり，処理済のごみのみが焼損している。また，脱臭時に屋外へ排気するための排気筒及び排気ホースを見分するも焼損は見られない。（写真２参照）

⑶ り災後も生ごみ処理機は再始動することができ，始動後はコントロールパネル及び機械本体に何ら不具合は生じていない。

現場見分状況から生ごみ処理機内部の処理槽の生ごみからの出火は明白であった。そこで，生ごみが出火に至る要因及び同機のＴヒータ及びＤヒータの安全装置作動状況を後日改めて確認することとした。

図１　外観図

左側面

上　面

図２　断面図

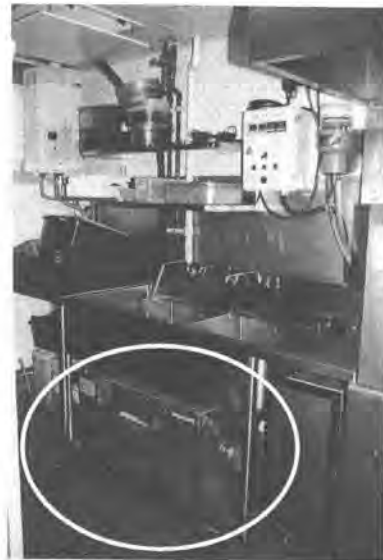



写真１　出火室状況

＊流し台の下に生ごみ処理機（○印）が設置されている。

写真２　処理槽内部の焼損状況

5. 実験及び鑑定

(1) 作動実験

ア 生ごみ処理機に10kg程度の生ごみを処理槽内に入れて作動させ，同機の安全装置として取り付けられたTヒータとDヒータのサーモスタットの作動状況，及び同機作動中の処理槽内とオイルジャケット内のオイルの温度変化を観察した。

イ 開始から1時間40分後まで実験を継続した結果，Tヒータのサーモスタットは100℃で作動し電源を遮断したが，処理槽内のTヒータ付近は最高198℃，さらにオイルの温度は164℃を表示した。また，Dヒータは430℃付近を常に表示しサーモスタットが入切を繰り返す状態であった。

ウ この実験から，本機の安全装置は正常に作動するものの，オイルジャケット直下に設置されたDヒータの熱がオイルジャケットに伝導して処理槽内は2時間弱で200℃付近まで上昇することが判明した。

販売会社側に確認すると，過去に同型機で処理したごみが炭化した例があり，その要因として，設計当初想定していなかった

①75kgに満たない生ごみを処理した場合

②一度処理されたごみを再処理した場合

に限り，処理槽内を冷やす程の水分がごみ自体に含有されていないため，加熱とともに処理槽内温度が上昇したと考えられるとの説明であった。

そこで，どのような現象が生じると，火災に至るのかを再現実験を行い確認することとした。

(2) 再現実験

ア 処理槽内に熱電対を10箇所設定し，同型機で一度処理されたごみ約10kgを投入後各部の温度変化について測定を開始した。**(写真3参照)**

イ 実験開始から約4時間後、処理槽内のごみ数箇所に炭化が認められた。この時の同槽内部の温度は200℃であった。

ウ 実験開始から約6時間後、ごみ投入扉の下部パッキン部分及び排気筒から刺激臭を伴う煙が出始めたため実験を中止した。この時の処理槽内の温度は236℃に達し，内部のごみは全て炭化した。**(写真4参照)**

エ 実験開始から中止まで，処理槽内の温度はほぼ上昇傾向にあり，以降実験を継続した場

写真3 再現実設定状況

写真4 実験状況

＊刺激臭を伴う煙が出始めている。

写真5 生ごみの炭化状況

(左：実験後，右：実験前)

合，Dヒータの温度（430℃：サーモスタットが作動しスイッチが切になる温度）まで上昇すると推定された。**（図3参照）**

(3) 鑑定

処理槽内部のごみが炭化したことから，ごみが同槽内部で加熱される際に酸化発熱することが推察されるため，実験で使用した一度処理されたごみに含まれる成分及び発火点について当庁の消防科学研究所に鑑定を依頼した。**（写真5参照）**

その結果，ごみには不飽和脂肪酸であるリノレン酸に由来する油分，またはオレイン酸に由来する油分が含まれ250℃付近で発火することが判明した。

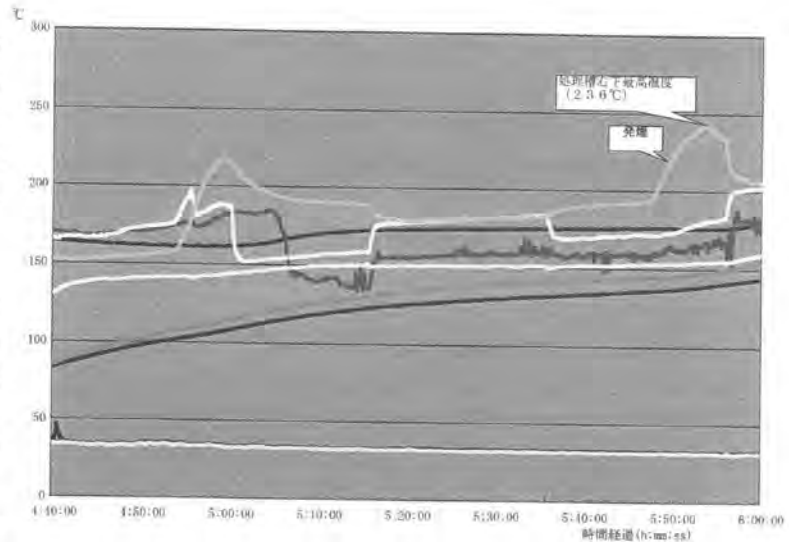
図3　再現実験グラフ（抜粋）

6. 出火原因

一度処理したごみを生ごみ処理機に存置したことを忘れ，誤って同機の作動開始ボタンを押してしまったため，処理槽内のごみが再度加熱処理された。

この際，生ごみ処理機内の安全装置は正常に作動したが，Dヒータは処理槽内の温度と関係なく加熱を継続したため（**5.(1)ウ参照**），処理槽内のごみ及びオイルが過熱され温度が上昇し続け，ごみに含有する不飽和脂肪酸が酸化発熱し出火したものと判定した。（バイオ式ではないため，発酵熱に関連するものではない）

7. 設置業者への指導と対応

今回火災となった直接的な要因は，店員が誤って一度処理したごみを再度加熱処理したことによるが，今後飲食店グループ各店舗に設置する他，系列外の飲食店等への販売も考えられ類似火災の発生が予想される。このため署は当庁の関係各課と連携し，ソフト面を飲食店グループに，ハード面を販売会社等に対して，それぞれ安全対策と改善指導を実施した。

この結果，飲食店グループは正社員だけでなくパート社員やアルバイト社員も対象に防火管理教育を各種研修会開催毎に実施することとなった。

また製造メーカーでは，生ごみ処理機本体の処理槽内の温度が150℃以上を感知すると機械本体の電源が切れる構造に改良され，さらに，Tヒータで160℃を感知するとDヒータの電源も同時に遮断する電気回路方式に改められ，二重の安全対策がとられた。

さらに，当該生ごみ処理機は東京都火災予防条例（東京都条例第65号，昭和37年3月31日公布）第7条の「乾燥設備」に該当することから，当庁予防課の指導により全機に過熱防止装置を設置した。

おわりに

火災調査の結果，既に設置された全機に改良を施した上，今後量産態勢に入り販売ラインに乗せる予定の同型機に対しても改良が施される運びとなり，同型機を含む生ごみ処理機全体に対する火災の予防に反映されたことは幸いである。

（文責　大滝真由美）